N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 7188

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE PARIS VI

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

par

Jean-Marie AUXILIEN

CONDUCTIVITE TURBULENTE DANS UN ECOULEMENT ENTRE DEUX PLANS PARALLELES EN REGIME ETABLI AVEC GRADIENT DE VITESSE TRANSVERSAL

Soutenue le 18 mai 1972, devant la Commission d'Examen

MM. FORTIER — Président

COMOLET, GELIN — Examinateurs

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 7188

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE PARIS VI

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

par

Jean-Marie AUXILIEN

CONDUCTIVITE TURBULENTE DANS UN ECOULEMENT ENTRE DEUX PLANS PARALLELES EN REGIME ETABLI AVEC GRADIENT DE VITESSE TRANSVERSAL

Soutenue le 18 mai 1972, devant la Commission d'Examen

MM.	FORTIER	Président
	COMOLET GELIN	Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Je dédie cette thèse à la mémoire

de mon Père, de ma Mère et de mon Frère

" morts pour la France " en juin 1940

AVANT - PROPOS

Les travaux de cette thèse ont été effectués au Service des Etudes Mécaniques et Thermiques du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

Nous remerçions Monsieur GELIN pour l'aide et les nombreux conseils qu'il nous a apportés.

Nous remerçions Monsieur FRANÇOIS et le personnel du service pour leur bienveillant concours.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur FORTIER qui nous a fait l'honneur de patronner cette thèse et à Monsieur le Professeur COMOLET pour avoir eu l'obligeance d'examiner nos travaux.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547103_0029

PRESENTATION

Répertoire des courbes, schémas et tableaux
Notations utilisées

INTRODUCTION
I - EXPOSE DU PROBLEME
II - INSTALLATION EXPERIMENTALE
III - APPAREILLAGE DE MESURE
IV - MESURES EFFECTUEES
V - PRESENTATION DES RESULTATS
VI - CONCLUSIONS
BIBLIOGRAPHIE
Tableaux de mesures effectuées et courbes caractéristiques.

ANNEXE 1 : Solution de l'équation de l'énergie
ANNEXE 2 : Caractère aléatoire des fluctuations de températures et évolution de la température d'entrée
ANNEXE 3 : Calcul d'erreur sur les variances

REPERTOIRE DES COURBES, SCHEMAS ET TABLEAUX

CHAPITRE II

Figure 1 : Schéma de la section droite du canal

Figure 2 : Schéma d'ensemble de l'installation

Figure 3 : Lunettes de visée (photo)

Figure 3bis Fil et thermistance en position de travail (photo)

Figure 4 : Sources chauffantes

CHAPITRE III

Figure 5 : Sondes de pression totale

Figure 6 : Sonde de température (photo)

Figure 7 : Echauffement de la thermistance

Figure 8 : Etalonnage de la thermistance

Figure 9 : Schéma de montage électrique

Figure 10 : Vue générale des appareils de mesure (photo)

CHAPITRE IV

Figure 11 : Déformée du canal

Figure 12 : Etablissement du régime

Figure 13 : Dépressions relevées par rapport à la prise n° 10 (sous-canaux indépendants)

Figure 14 : Dépressions relevées par rapport à la section de mesure

Figure 15 : Réseaux d'isovitesses comparés

CHAPITRE V

Figure 16 : Loi logarithmique des vitesses Re = 180 000

Figure 17 : Loi logarithmique des vitesses Re = 810 000

Figure 18 : Evolution de la vitesse de frottement

Figure 19 : Déplacement transversal moyen des particules Re = 180 000

Figure 20 : Déplacement transversal moyen des particules Re = 810 000

Figure 21 : Loi de la variance Re = 180 000 XF = 248 mm

Figure 22 : Loi de la variance Re = 180 000 XF = 407 mm

Figure 23 : Loi de la variance Re = 810 000 XF = 248 mm

Figure 24 : Loi de la variance Re = 810 000 XF = 407 mm

Figure 25 : Loi de la variance en coordonnées réduites

Figure 26 : Echelles lagrangiennes

Figure 27 : Conductibilité thermique Re = 180 000

Figure 28 : Conductibilité thermique Re = 810 000

Figure 29 : Anisotropie des transferts thermiques au centre du canal Re = 810 000 et 180 000 (29-1 29-2 29-3)

TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux résultats de l'étude aérodynamique

Tableau 2 : Principaux résultats de l'étude aérodynamique

Tableau 3 : Principaux résultats de l'étude de la diffusion turbulente

Tableaux 4 à 6 : Présentation des mesures de vitesse (les 2 sous-canaux séparés)

Tableaux 7 à 17 : Présentation des mesures de vitesse (les 2 sous-canaux en communication).

Tableaux 18 à 57 : Présentation des mesures de température

FIGURES

Figures 30 à 41 : Tracés de quelques courbes de température caractéristiques

NOTATION UTILISEE

Définition Géométrique

	Section droite du canal : x distance au longeron y distance à la paroi du canal
z	distance au fil chauffant
x_i	coordonnées d'une particule ($x = XF + x'$) à l'instant t
x'_i	coordonnées fluctuantes de la position instantanée d'une particule
XF, ZF	définissent la position du fil chauffant par rapport à la section droite du canal où s'effectuent les mesures de vitesse et de température.
YS	distance du plan de sondage à la paroi.
2Y	distance entre les plans du canal.
y_+	distance à la paroi du canal en viariable réduite $y_+ = \frac{y\,W_*}{\nu}$
D_H	diamètre hydraulique $D_H = 4\,\frac{S}{P}$

Définition du fluide

ρ	masse spécifique
Cp	chaleur spécifique à pression constante
μ , λ	viscosité dynamique et conductibilité thermique moléculaires
μ' , λ'	viscosité dynamique et conductibilité thermique turbulentes

Définition aérodynamique

$\vec{U}$	vecteur vitesse instantanée de composantes moyennes en un point $(o,o,\overline{W})$
W	vitesse débitante $W = \frac{1}{S} \int_S \overline{W}\,.\,dS$
$\vec{u}'$	vecteur fluctuation de vitesse de composantes u', v', w'
q	débit massique
p	pression statique moyenne
τ	tension de frottement (τ_o tension de frottement sur la paroi)
W_*	vitesse de frottement $\tau_o = \rho\,W_*^2$
W_+	vitesse en variable réduite $W_+ = \frac{W}{W_*}$
α_i	gradient de vitesse réduit $\alpha_i = \frac{\partial \overline{W}}{\partial x_i}\,\frac{2\,Y}{W}$
f	coefficient de frottement moyen ($\Omega = 4\,f$)

Re	nombre de Reynolds $Re = \frac{W.D_H}{\nu}$
P_r	nombre de Prandlt

Définition thermique

T	température instantanée en un point du fluide
θ'	fluctuation de la température
φ	densité de flux thermique
N_u	nombre de Nusselt
R_{th}	résistance de la thermistance
R_L	coefficient de corrélation de Lagrange
L	Echelle lagrangienne de la Turbulence

CONDUCTIVITE TURBULENTE DANS UN ECOULEMENT ENTRE DEUX PLANS PARALLELES EN REGIME ETABLI AVEC GRADIENT DE VITESSE TRANSVERSAL

INTRODUCTION

Devant la complexité de la turbulence, différentes interprétations ont été données.

Parmi celles-ci, citons BOUSSINESQ qui, dès 1877, traduisait la turbulence à l'aide d'un coefficient de viscosité fictif, REYNOLDS qui définissant en 1894 les tensions turbulentes et des relations énergétiques entre le mouvement moyen des particules et celui de leurs fluctuations. Les interprétations actuelles cherchent à coordonner en terme de longueur de mélange les nombreux faits constatés expérimentalement.

Sir G.I. TAYLOR analyse la turbulence en considérant l'évolution temporelle de données statistiques. Nos travaux montreront que cette théorie est une nouvelle fois pleinement vérifiée compte tenu des conditions aux frontières et des conditions initiales qui définissent l'écoulement turbulent particulier ainsi réalisé.

Les travaux de TACCOEN [3], qui l'ont amené à étudier la diffusion turbulente de la chaleur dans une zone de l'écoulement à fort gradient de vitesse transversal, montrent que la diffusion des particules est plus intense vers les régions de plus grande vitesse moyenne FAYET [12] constate une inversion du phénomène, en travaillant près d'une paroi, pour des temps de diffusion très grands. Les mesures effectuées par HEGGZIJNEN [5] dans un jet libre avaient mis en évidence outre cette propriété, le rôle très important que jouent les tensions de Reynolds dans de tels écoulements.

Notre étude, relative à un écoulement plan en régime établi avec gradient de vitesse transversal, nous a amené à examiner les conditions expérimentales avec lesquelles JULLIEN étudiait la conductibilité turbulente parallèlement aux isovitesses. Afin de ne modifier que le minimum de paramètres par rapport à ses travaux nous avons réalisé un canal plan, géométriquement semblable au sien avec adjonction d'un canal secondaire de section très différente. Nous avons effectué des mesures dans une région de l'écoulement où nous pouvions étudier entre autres les transferts parallèlement aux isovitesses pour ces nouvelles conditions aux frontières.

Compte tenu de l'intérêt de la définition d'un coefficient de conductibilité thermique fictif, susceptible de décrire grossièrement la diffusion turbulente, nous reprendrons son

étude pour notre écoulement avec gradient de vitesse transversal.

Comme de nombreux auteurs, nous étudions la diffusion turbulente à partir d'une source linéaire de faibles dimensions tendue normalement à l'écoulement moyen.

La grande difficulté de donner une loi de variation des phénomènes de la diffusion turbulente, en fonction du nombre de Reynolds, (ces variations observées sont minimes) nous a incité à rechercher une indication qualitative d'une telle influence. Cette étude a été faite pour deux nombres de Reynolds extrêmes. Nous avons effectué des mesures de diffusion thermique pour plusieurs distances à la paroi et dans des régions du canal où le gradient de vitesse transversal était sensiblement nul ou maximum. Nous nous sommes également intéressés aux régions limites du canal plan là où les échanges peuvent présenter des singularités. En particulier nous avons exploré dans des régions où la largeur du sillage turbulent, qui se développe derrière la source linéaire, atteignait une dimension comparable à la distance entre la source et la paroi la plus proche, nous plaçant ainsi dans des conditions expérimentales comparables à celles de TACCOEN [3] ou de FAYET [12].

Nous avons enfin terminé nos essais par la détermination de l'anisotropie du coefficient de conductibilité thermique, au centre du canal plan, par des mesures de diffusion de la chaleur normalement aux isovitesses.

I - EXPOSE DU PROBLEME

1 - EQUATIONS GENERALES

L'équation de conservation de la masse s'écrit :

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} \vec{U} = o$$

avec $\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_i U_i \frac{\partial \rho}{\rho x_i}$ la dérivée particulaire

Hypothèse 1

Les écoulements envisagés voient leur température et leur pression varier très peu devant leurs conditions ambiantes initiales. Dans ces conditions nous supposerons que ρ Cp μ et λ sont des constantes de l'écoulement d'air étudié.

Dans ces conditions $\boxed{\operatorname{div} \vec{U} = o}$ (1)

Hypothèse 2

L'écoulement obéit aux lois des gaz parfaits. L'équation d'état se mettra donc sous la forme $\boxed{\frac{p}{\rho} = r\,T}$ (2)

1.1 - Définition des tensions de Reynolds

En utilisant la convention d'Einstein sur l'indice muet, les équations du mouvement s'écrivent [1]

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial xj} (\rho U_i U_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial xj}$$

avec $\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial Ui}{\partial x_j} + \frac{\partial Uj}{\partial x_i}\right)$ les tensions visqueuses

Hypothèse 3

En régime turbulent permanent en moyenne, une variable aléatoire U peut se mettre sous la forme $U = \bar{U} + u'$.

Où $\bar{U}$ représente la moyenne temporelle de la variable aléatoire U.

Si t est suffisamment grand, $\bar{U}$ pourra être défini indépendamment de t

$$\bar{U} = \frac{1}{t} \int_{to}^{to+t} U\,dt$$

u' représentant la fluctuation, de la variable aléatoire U, autour de sa valeur moyenne $\overline{U}$ ainsi définie pour une turbulence stationnaire.

Les équations du mouvement s'écriront alors puisque ρ est constant

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{U_i U_j}) = - \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \overline{\tau_{ij}}}{\partial x_j}$$

or $\overline{U_i U_j} = \overline{U}_i \overline{U}_j + \overline{u'_i u'_j}$ puisque les moyennes des fluctuations u'_i, prises sur un temps suffisamment grand, sont nulles.

alors
$$\boxed{\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{U}_i \overline{U}_j) = - \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{\tau}_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j})} \qquad (3)$$

Les composantes $- \rho \overline{u'_i u'_j}$ sont appelées les tensions de Reynolds. Ces termes homogènes à une contrainte sont nuls sur les parois alors que les tensions visqueuses $\overline{\tau}_{ij}$ sont maximales.

Les équations (1) et (2) se mettent sous la forme

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \overline{U}_i = 0 \qquad (4)$$

et
$$\overline{p} = r \rho \overline{T} \qquad (5)$$

1.2 - <u>Définition du coefficient de diffusivité thermique en régime turbulent</u>

Compte tenu des hypothèses précédentes, l'équation de l'énergie s'écrit

$$\rho \frac{DH}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \varphi + \frac{\partial}{\partial x_i} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i})$$

L'hypothèse 2 permet d'écrire

$$\rho Cp \frac{DT}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \varphi + \frac{\partial}{\partial x_i} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i})$$

or
$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial U_i T}{\partial x_i} \quad \text{puisque} \quad \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = o$$

Pour une turbulence permanente en moyenne (hypothèse 3)

$$\rho Cp \frac{\partial U_i T}{\partial x_i} = \overline{\varphi} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\lambda \frac{\partial \overline{T}}{\partial x_i})$$

or
$$\overline{U_i T} = \overline{U}_i \overline{T} + \overline{u'_i \theta'} \quad \text{avec } T = \overline{T} + \theta'$$

L'équation de conservation de l'énergie relativement aux moyennes s'écrit :

$$\boxed{\rho Cp \frac{\partial \overline{U}_i \overline{T}}{\partial x_i} = \overline{\varphi} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\lambda \frac{\partial \overline{T}}{\partial x_i} - \rho Cp \overline{u'_i \theta'}} \qquad (6)$$

Le transfert thermique dû à l'agitation moléculaire est donc augmenté d'un transfert turbulent caractérisé par $- \rho \, Cp \, \overline{u'_i \, \theta'}$. Par analogie au terme dû à la diffusivité moléculaire, il est fréquent de voir définie une diffusivité turbulente de la température T sous la forme

$$- \rho \, Cp \, \overline{u'_i \, \theta'} = \lambda_{turb_i} \frac{\partial \overline{T}}{\partial x_i}$$

Or cette relation de proportionnalité n'est pas justifiable [1] [2]. Toutefois les travaux de TACCOEN [3] et JULLIEN [4] montrent que pour certains problèmes donnés, définis par des conditions aux frontières et des conditions initiales déterminées, il est possible de se référer à la définition précédente d'une diffusivité turbulente. Les résultats de leurs expériences établissent que le rapport $\frac{- \rho \, Cp \, \overline{u'\theta'}}{\frac{\partial \overline{T}}{\partial x_i}}$ tend vers une constante lorsque la longueur de diffusion des particules marquées, derrière une source fixe, est suffisamment grande.

2 - DIFFUSION DE PARTICULES MARQUEES DERRIERE UNE SOURCE FIXE DANS UN ECOULEMENT TURBULENT HOMOGENE ET STATIONNAIRE.

2.1 - Définition de l'homogénéité de l'écoulement envisagé

La vitesse moyenne étant une fonction des coordonnées spatiales, les corrélations du type $\overline{u'(A) \, v'(B) \, w'(C)}$ seront fonction de la position du triangle ABC. Une telle turbulence n'est plus homogène et il n'est pas possible actuellement de développer des calculs analogues au calcul de Taylor [6] [1].

Au cours de nos travaux, nous effectuerons des mesures dans une région de la section du canal où le gradient de vitesse transversal est pratiquement nul. Les explorations se faisant parallèlement aux isovitesses nous pourrons reprendre les calculs de Taylor pour un écoulement turbulent homogène et stationnaire.

Des travaux effectués dans ces conditions [7] [4] [12] on constate que la diffusion des particules, chauffées au passage de la source, obéit à une loi gaussienne.

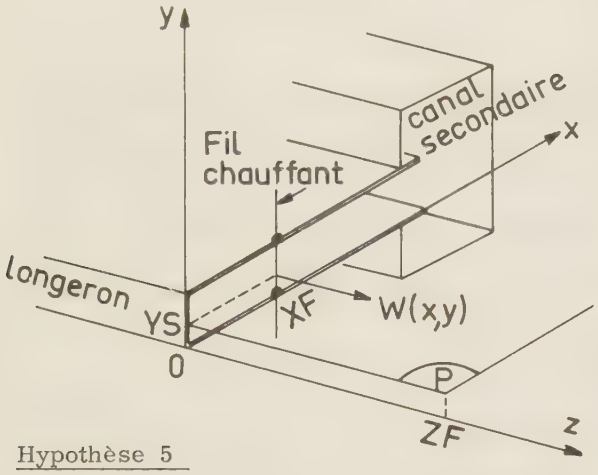
Les travaux effectués dans un écoulement turbulent avec gradient de vitesse transversal montrent que les courbes de diffusion sont dissymétriques. Une telle déformation des courbes de diffusion a été montrée dans les expériences effectuées par SKRAMSTAD dans une couche limite turbulente [9] par UBEROI et CORRSIN dans une zone de mélange turbulent d'un jet libre circulaire [8] par HINZE et VAN DER HEGGE ZIJNEN dans la zone de mélange turbulent d'un jet libre plan [5] et, par TACCOEN dans un tube cylindrique circulaire lisse [3] et par FAYET dans des tubes de sections circulaire et rectangulaire [12].

Il ressort de ces observations que les facteurs de dissymétrie et d'aplatissement permettent de traduire que les écarts par rapport à la loi normale, compte tenu des erreurs expérimentales, restent difficiles à chiffrer lorsque le gradient de vitesse transversal est de l'ordre de celui observé dans la zone logarithmique des vitesses. Notons que pour de tels écoulements il n'est plus possible de leur associer une échelle intégrale. En conséquence il n'est pas possible d'associer à cette turbulence un coefficient constant de diffusion même

fictif.

Hypothèse 4

La section droite du canal, uniforme au repos, le restera lorsque l'installation sera mise en charge.



Pour un tel écoulement turbulent homogène et stationnaire la vitesse instantanée $\vec{U}$ en un point admet pour composantes

$$\begin{matrix} u' \\ v' \\ \overline{W} + w' \end{matrix}$$

Désormais nous limiterons notre étude à ce type d'écoulement c'est-à-dire à celle de la diffusion des particules dans le plan P d'ordonnée YS.

Hypothèse 5

L'écoulement peut être considéré comme plan jusqu'à des distances importantes en aval du fil chauffant. Cette hypothèse n'est plus justifiée dans les cas où le gradient de vitesse, normal au plan selon lequel est étudiée la diffusion, est important. Nous définirons les limites de validité d'une telle hypothèse lors de la présentation de nos résultats.

2.2 - Lois de la diffusion des particules selon le modèle de Taylor

L'abscisse d'une particule, chauffée au contact du fil au temps t = o, sera définie au temps t par x = XF + x'.

La fluctuation de la vitesse $u'(t) = \frac{dx}{dt} = \frac{dx'}{dt}$

$$x'(t_1) = \int_0^{t_1} u'(t)\, dt$$

et

$$x'(t_1) \frac{dx'(t_1)}{dt} = u'(t_1) \int_0^{t_1} u'(t)\, dt$$

$$\frac{1}{2} \frac{d\, x'^2}{dt} = \int_0^{t_1} u'(t_1)\, u'(t)\, dt$$

Pour un grand nombre de particules fluides, qui sont passées par la source à des temps ultérieurs t = o, au temps $t = t_1$

$$\frac{1}{2} \frac{\overline{dx'^2}}{dt} = \int_0^{t_1} \overline{u'(t_1)\, u'(t)\, dt}$$

Introduisons le coefficient de corrélation lagrangien entre les fluctuations des vitesses instantanées prises aux temps t et t_1.

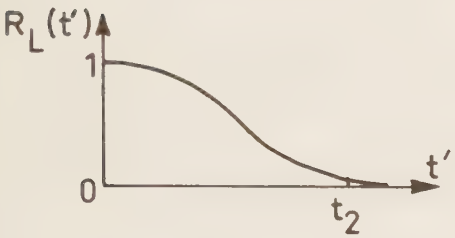
$$R_L(t_1-t) = \frac{\overline{u'(t_1)\,u'(t)}}{\sqrt{\overline{u'(t_1)^2}}\,\sqrt{\overline{u'(t)^2}}}$$

La turbulence étant homogène et stationnaire, la variance $\overline{u'^2_{(t)}}$ est indépendante du temps et le coefficient de corrélation ne dépendra que de $t' = t_1 - t$ donc

$$R_L(t') = \frac{u'(t_1)\,u'(t)}{\overline{u'^2}} \quad ; \; R_L(t') = 1 \text{ si } t' = o \text{ Propriétés } ; \; R_L(t') \to 0 \text{ si } t' \to \infty$$

Il est toujours possible de définir un temps t_2 tel que si $t' > t_2$ il n'y ait pratiquement plus de corrélation entre $u'(t_1)$ et $u'(t)$. C'est à dire que l'intégrale $\int_o^\infty R_L(t')\,dt'$ est finie.

Cette intégrale définit l'échelle lagrangienne intégrale des temps de la turbulence $\mathcal{T}_L \equiv t_2$.



Donc $\frac{1}{2}\,\overline{\frac{dx'^2}{dt}} = \overline{u'^2} \int_o^{t_1} R_L(t')\,dt'$

En intégrant les deux membres de o à t_1 nous obtenons

$$\boxed{\overline{x'^2} = 2\,\overline{u'^2} \int_o^{t_1} (t_1 - t')\,R_L(t')\,dt'} \qquad (7)$$

Dans le cas d'un écoulement moyen parallèle à l'axe oz, les équations du mouvement s'écriront compte tenu de l'hypothèse 3.

$$\rho\,\frac{\partial u'_i}{\partial t} + \rho\,\overline{W}\,\frac{\partial u'_i}{\partial z} + u'_j\,\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i}$$

Loin de la paroi les fluctuations de vitesses sont très petites en valeurs quadratiques moyennes devant la vitesse moyenne et les fluctuations de pression sont de l'ordre de $\rho\,\overline{u'^2_i}$.

Donc, en néligeant les infiniment petits du deuxième ordre devant ceux du premier ordre nous retrouvons l'hypothèse formulée par Taylor $\frac{\partial u'_i}{\partial t} + \overline{W}\,\frac{\partial u'_i}{\partial z} = o$
De même $z = \overline{W}\,.\,t$

2-3 - Lois de la diffusion des particules pour des temps très courts

2.3.1. - Variance $\overline{x'^2}$ de la loi de répartition près de la source

Pour des temps très courts $R_L = 1 - \frac{t^2}{\tau_L^2} + \varepsilon$ [1]

Donc, pour des temps t très petits devant la microéchelle Lagrangienne des temps de la turbulence τ_L, le coefficient de corrélation $R_L(t) \sim 1$ et $\overline{x'^2} = \overline{u'^2}\,t^2$ ou avec $z = \overline{W}\,t$.

$$\boxed{\overline{x'^2} = \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2} \; z^2} \qquad (8)$$

Les particules qui se trouvaient au temps t = o à l'abscisse XF diffusent en raison de leurs mouvements désordonnés.

Au temps t ces particules se trouvent à l'abscisse XF + x'.

La loi de répartition de ces abscisses admet pour variance $\overline{x'^2}$ et pour moyenne $\overline{x'}$. La répartition des ordonnées de ces mêmes particules obéissant à des lois analogues, notre raisonnement sera supposé applicable à l'ensemble des particules qui, "issues" du fil chauffant au temps t = o, passeront au temps t à l'ordonnée YS.

2.3.2. - Abscisse moyenne $\overline{x'}$ de l'ensemble des particules venant du fil chauffant

Les fluctuations de vitesse u' ont, par définition, une moyenne temporelle nulle mais aucune loi ne nous permet de relier $\overline{u'}$ à $\overline{x'}$ définie comme précédemment.

A l'instant t $u'(t) = \frac{dx'}{dt}$

Pour des temps de diffusion t' très courts ($R_L \sim 1$) u' (t) pourra être développé en série au voisinage de t = o.

$u'(t) = u'(o) + \varepsilon \simeq u'(o)$ au premier ordre près

Alors au voisinage de la source

$x'(t) \simeq u'(o)\, t$

De même

$z(t) \simeq \left[\overline{W} + w'(o) \right] t$

En supposant que l'intensité relative de la turbulence est telle que w' (o) n'est pas négligeable devant $\overline{W}$ tout en ayant $\frac{w'(o)}{\overline{W}} < 1$.

Alors $x'(z) = \frac{u'(o)}{\overline{W} + w'(o)} \; z$

Pour un grand nombre de particules fluides qui sont passées par la source à des temps ultérieurs t_o pendant le temps t que dure l'observation :

$$\overline{x'(z)} = z \; \frac{1}{t} \int_o^t \frac{u'(t_o)}{\overline{W} + w'(t_o)} \, dt_o$$

$$\frac{\overline{x'(z)}}{z} = \frac{1}{t} \int_o^t \frac{u'(t_o)}{\overline{W}} \left[1 + \frac{w'(t_o)}{\overline{W}} \right]^{-1} dt_o$$

$$= \frac{1}{t} \int_o^t \frac{u'(t_o)}{\overline{W}} \left[1 - \frac{w'(t_o)}{\overline{W}^2} + \frac{w'^2(t_o)}{\overline{W}^2} \cdots \right] dt_o$$

$$= \frac{\overline{u'}}{\overline{W}} - \frac{\overline{u'w'}}{\overline{W}^2} + \frac{\overline{u'w'^2}}{\overline{W}^3} \cdots$$

En négligeant $\frac{\overline{u' w'}^2}{\overline{W}^3}$ devant $\frac{\overline{u' w'}}{\overline{W}^2}$ et puisque $\overline{u'} = o$

$$\boxed{\overline{x'(z)} \simeq - \frac{\overline{u' w'}}{\overline{W}^2} z} \qquad (9)$$

$$\overline{x'(z)} = \left(- \overline{\rho u' w'} \frac{z}{\rho \overline{W}^2}\right)$$

L'abscisse moyenne des particules venant du fil chauffant est, à la cote z, directement proportionnelle à la tension de Reynolds définie par l'équation 8.

2.4. - Lois de la diffusion des particules pour des temps très grands

2.4.1. - Variance $\overline{x'^2}$ de la loi de répartition loin de la source

En effectuant le changement de variable $z = \overline{W} . t$ dans l'équation (7)

$$\overline{x'^2} = \frac{2 \overline{u'^2}}{\overline{W}^2} \int_o^{z_1} (z_1 - z) R_L (z) dz$$

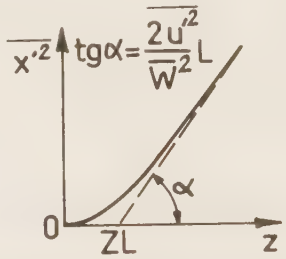
La définition de l'échelle Lagrangienne intégrale des longueurs de la turbulence $L = \int_o^\infty R_L (z) dz$ introduit le coefficient de corrélation Lagrangien entre les fluctuations des vitesses instantanées prises aux cotes z_o et $z_o + z$.

L décrit la macroéchelle Lagrangienne de la turbulence.

Pour des temps de diffusion très grands $t > \tau_L, z_1$ pourra vérifier

$$\int_o^{z_1} R_L (z) dz \simeq \int_o^\infty R_L (z) dz$$

Alors
$$\boxed{\overline{x'^2} = \frac{2 \overline{u'^2}}{\overline{W}^2} L \left| z - \frac{\int_o^{z_1} z R_L (z) dz}{L} \right|} \qquad (10)$$



2.4.2 - Abscisse moyenne $\overline{x'}$ de l'ensemble des particules venant du fil chauffant

La fluctuation x'' d'une particule à l'instant t se calcule par l'intégrale $\int_o^t w' (t') dt'$, elle se trouve alors à la cote :

$$\overline{W} . t + \int_o^t w' (t') dt'$$

Reprenons le calcul du paragraphe 2.3.2. pour des temps de diffusion quelconques. En variable de Lagrange et à l'instant t.

$$dx' = u' (t) \; dt$$

$$dz = \overline{W} + w' (t) \; dt$$

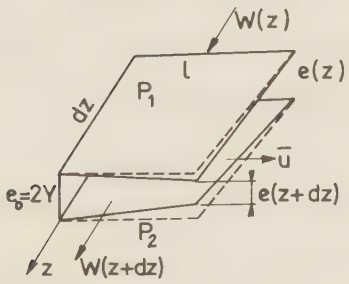
donc
$$\frac{dx'}{dz} = \frac{u' (t)}{\overline{W} + w' (t)} = \frac{u'}{\overline{W}} - \frac{u' w'}{\overline{W}^2} + \frac{u' w'^2}{\overline{W}^3} - \frac{u' w'^3}{\overline{W}^4} + \ldots\ldots$$

et pour un grand nombre de particules qui sont passées par la source

$$\overline{\frac{d\,x'}{dz}} = -\frac{\overline{u'\,w'}}{\overline{W}^2} + \frac{\overline{u'\,w'^2}}{\overline{W}^3} - \frac{\overline{u'\,w'^3}}{\overline{W}^4} + \ldots\ldots$$

En négligeant $\frac{\overline{u'\,w'^2}}{\overline{W}^3}$ devant $\frac{\overline{u'\,w'}}{\overline{W}^2}$ l'expression donnant $\overline{x'}\,(z)$ est identique à l'équation (9). En fait nous n'avons pas de résultats comparatifs permettant de négliger les corrélations triples et celles d'ordre supérieur devant $-\frac{\overline{u'\,w'}}{\overline{W}^2}$.

2.4.3. - Contribution de la variation de la section droite du canal sur le déplacement $\overline{x'}$ de l'ensemble des particules venant du fil chauffant.



Afin de donner l'ordre de grandeur de $\overline{x'}$ considérons un tronçon du canal de longueur dz et supposons que les déformations varient linéairement tout le long d'un tronçon de longueur L. Ecrivons qu'il y a conservation de la masse.

$$\rho\,\frac{e_o + e\,(z + dz)}{2}\;1\;W\;(z + dz) - \rho\,\frac{e_o + e\,(z)}{2}\;1\;W\;(z) + \rho\;e\;(z)\;dz\;\bar{u} = o$$

Expérimentalement nous constatons que $W\,(z) \sim C^{te}$ le long du tronçon où s'étudie la diffusion.

donc $\frac{\bar{u}}{W} \simeq -\frac{de}{dz}\,\frac{1}{2e}$

Si le canal se déforme en suivant une loi linéaire en fonction de z et si l'on admet forfaitairement que $-\frac{de}{dz} = k\,\frac{\delta\lambda}{L}$ avec $k < 1$.

$\delta\lambda$ étant la flèche maximum mesurée et L la demi-longueur d'une travée.

alors $$\boxed{\frac{\bar{u}}{W} \simeq k\,\frac{\delta y\,.\,l}{4\,L\,Y}} \qquad k < 1 \qquad (11)$$

Cette relation ne permet pas de calculer la vitesse moyenne $\bar{u}$ mais elle nous indiquera si l'hypothèse relative à la variation de la déformée du canal le long de l'axe oz est à rejeter ou à conserver.

Pour ce faire, la connaissance expérimentale de $\frac{\overline{x'}}{z}$ sera comparée aux effets de la tension de Reynolds $-\frac{\overline{u'\,w'}}{\overline{W}^2}$ est à $k\,\frac{\delta y l}{4\,L\,Y}$

2.5 - Etude expérimentale de la variance $\overline{x'^2}$ dans un écoulement à gradient de vitesse transversal

Pour l'écoulement unidirectionnel envisagé

$\bar{U}_1 = o\;;\;\bar{U}_2 = o\;;\;\bar{U}_3 = \bar{W}_{(x,\,y)}$

L'étude menée dans un plan situé à la cote y intéressera des régions, peu étendues, où le gradient de vitesse $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \sim$ constante c'est à dore $\overline{W} = \overline{W}_o (1 + ax')$.

En négligeant les échanges d'énergie, l'équation (6) s'écrit :

$$\rho \, Cp \, \overline{W} \, \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} = \lambda \, \frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial x^2} - \rho \, Cp \, \frac{\partial}{\partial x} \, (\overline{u' \, \theta'})$$

avec $\frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial x^2} >> \frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial z^2}$ vérifié expérimentalement, et en supposant que $- \frac{\partial}{\partial x} (\overline{w' \, \theta'})$ est négligeable devant $\overline{W} \quad \frac{\partial \overline{T}}{\partial z}$ [8].

Cette équation a été résolue mathématiquement par (LAUWERIER) [10], qui part de l'équation de la diffusion avec convection. Elle a été vérifiée par l'expérience à la suite des travaux menés par UBEROI et CORSIN [8] dans une zone de mélange turbulent d'un jet libre circulaire, par HINZE et VAN DER HEGGE ZIJNEN [5] dans la zone de mélange turbulent d'un jet libre plan et par SKRAMSTAD [9] dans une couche limite turbulente. Tous utilisaient une source linéaire de chaleur. Les courbes de diffusion obtenues par TACCOEN [3] et FAYET [12] dans des tubes lisses de section circulaire et carrée, à partir d'un fil chauffant tendu près de la paroi, permettent de ne donner qu'une interprétation qualitative de l'effet du gradient de vitesse transversal. Au cours de nos essais, nous opérons dans des régions où ce gradient de vitesse est faible devant celui qui est observé dans la zone logarithmique

$$\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \; / \; \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} << 1$$

De ce fait nous devons nous attendre à ce que $\overline{x' (z)}$ soit très petit devant $\overline{y' (z)}$. Nous verrons que l'interprétation de $\overline{x'}$ par la seule tension de Reynolds, est insuffisante.

La diffusion des particules ,étudiée parallèlement aux isovitesses ($\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \simeq o$), nous ramène à une étude analogue à celle de JULLIEN [4].

Les résultats expérimentaux [3], [4], [12]... peuvent être représentés par une loi gaussienne.

$$\Delta \overline{T} = \Delta \overline{T} \max e^{- \frac{x'^2}{2\overline{x'^2}}}$$

$\Delta \overline{T}$ représentant l'élévation de la température du fluide, mesurée dans le sillage du fil chauffant. Si nous supposons qu'elle est représentative de l'agitation thermique des particules qui, issues au temps t = o du voisinage immédiat du fil, se trouvent être au temps t au contact de la sonde de température, alors cette élévation de température est proportionnelle à sa densité de probabilité de passage en ce point

$$P (XF + x', z) = P (XF, z) \, e^{\frac{x'^2}{2\overline{x'^2}}}$$

. Ce schéma est très simplifié puisqu'il ne tient pas compte des échanges d'énergie entre les particules au cours de leur mouvement.

Si la diffusion moléculaire est négligeable devant la diffusion turbulente, l'équation de conservation de l'énergie.

$$\overline{W} \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u' \theta'}$$

admet pour solution

$$\boxed{\overline{u' \theta'} = - \frac{\overline{W}_o}{2} \frac{\overline{\partial x'^2}}{\partial z} \frac{\partial \overline{T}}{\partial x} (1 + a x')} \qquad (12)$$

Cette relation est établie en annexe 1

Il ne sera possible de définir une conductibilité turbulente fictive λ' que si $\frac{\overline{\partial x'^2}}{\partial z} = c^{te}$. alors $- \rho \overline{u' \theta'} = \lambda' \frac{\partial \overline{T}}{\partial x}$ où λ' est une fonction des variables x' et y. Les travaux de FAYET [12] montrent que cette condition est très difficilement réalisée dans les sillages de fils tendus en travers de l'écoulement. Toutefois, pour des écoulements à grandes vitesses (30 m/s), il obtient des valeurs de la conductibilité turbulente qui approchent à $\frac{2}{100}$ près celles obtenues en écoulement naturel (en l'absence du fil chauffant). Notons enfin que la distribution des températures, mesurées dans le sillage du fil chauffant, obéit à une loi gaussienne si elle est rapportée à un temps de diffusion constant pour toutes les particules $\frac{z}{\overline{W}} = t = C^{te}$ avec $\overline{W} = \overline{W}$ (x,y).

2.6 - Calcul de la variance pour un écoulement non perturbé (X_o^2)

La fonction de corrélation de Lagrange R_L (z) admet pour expression $e^{\frac{z}{ZL}}$ pour $R_L(z) < 0,9$ référence [1] ; c'est-à-dire pour $z > 0,105$ ZL ce qui est le cas pour toutes nos mesures.

ZL s'identifie à l'échelle lagrangienne de la turbulence L.

Rappelons que pour des temps de diffusion très courts ce coefficient de corrélation admet pour expression le développement suivant :

$$R_L (t') = 1 - \frac{t'^2}{\tau_L^2} + \epsilon$$

Compte tenu de l'hypothèse de Taylor, l'équation 7 peut s'écrire sous la forme suivante :

Si $t_o = 0,1 \frac{ZL}{\overline{W}}$

$$X_o^2 = 2 \overline{u'^2} \left[\int_o^{t_o} (t-t') (1 - \frac{t'^2}{\tau^2} + \ldots) dt' + \int_{t_o}^{t} (t-t') e^{-\frac{t'}{ZL} \overline{W}} dt' \right]$$

$$X_o^2 \simeq 2 \overline{u'^2} \int_o^t (t-t') e^{-\frac{t'}{ZL} \overline{W}} dt'$$

Cette équivalence suppose l'hypothèse suivante :

$$\int_0^{t_o} (t-t')\, e^{-\frac{t'}{ZL}\bar{W}}\, dt' \simeq \int_0^{t_o} (t-t')\left(1 - \frac{t'^2}{\tau\, 2} + \ldots\right) dt'$$

Alors la variance, pour un écoulement non perturbé, aura pour expression :

$$X_o^2 = 2\,\overline{u'^2}\,\frac{ZL}{\bar{W}}\left[\, t + \frac{ZL}{\bar{W}}\left(e^{-t\frac{\bar{W}}{ZL}} - 1\right)\right]$$

ou

$$X_o^2 = 2\,\overline{u'^2}\,\frac{ZL}{\bar{W}^2}\left[\, z + ZL\left(e^{-\frac{z}{ZL}} - 1\right)\right]$$

La validité de l'hypothèse précédente a pu être vérifiée à l'aide des résultats présentés dans le tableau n° 3.

En conséquence, pour une longueur de diffusion z = 15 mm, l'erreur systématique $\frac{\delta X_o^2}{X_o^2}$ est de 30 % à z = 55 mm elle n'est plus que de $\frac{2}{100}$ pour devenir négligeable à 100 mm (de l'ordre du 1/1 000e).

2.7 - Etude du moment $\overline{u'\,w'}$

De même que $\tau_{ij} = \mu\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_i}{\partial x_i}\right)$ représente les tensions visqueuses, définissons les tensions de Reynolds à l'aide d'une viscosité dynamique fictive μ'_{ij}.

$$-\rho\, u'_i\, u'_j = \mu'_{ij}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)$$

Pour un écoulement dans un canal de section rectangulaire [1]

$$\tau = \tau_o\left(1 - \frac{y}{Y}\right) \text{ avec } \tau_o = \rho\, W_*^2$$

Or $\quad \tau = \mu\,\frac{\partial \bar{W}}{\partial y} - \rho\,\overline{v'\,w'}$

alors $\quad -\rho\,\overline{v'\,w'} = \rho\, W_*^2\left(1 - \frac{y}{Y}\right) - \mu\,\frac{\partial \bar{W}}{\partial y}$

Si, pour décrire les tensions de Reynolds, nous utilisons les grandeurs μ'_{ij}

$$-\rho\,\overline{v'\,w'} = \mu'_{yz}\,\frac{\partial \bar{W}}{\partial y}$$

$$-\rho\,\overline{v'\,w'} = \mu'_{xz}\,\frac{\partial \bar{W}}{\partial x}$$

puisque $\bar{U}_1 = o$, $\bar{U}_2 = o$ et $\bar{U}_3 = \bar{W}\,(x, y)$

Ainsi nous pouvons exprimer $\overline{u'\,w'}$ en fonction de $\overline{v'\,w'}$ et des grandeurs μ'_{xz} et μ'_{yz}.

$$-\rho\,\overline{u'\,w'} = -\rho\,\overline{v'\,w'}\,\frac{\mu'_{xz}}{\mu'_{yz}}\,\frac{\partial \bar{W}/\partial_x}{\partial \bar{W}/\partial_y}$$

En posant, en première approximation, que le rapport $\frac{\mu'_{xz}}{\mu'_{yz}} \simeq k$, nous pouvons obtenir une évaluation du moment $\overline{u' w'}$

$$\boxed{- \rho \overline{u' w'} = k \left| \rho W_*^2 \left(1 - \frac{y}{Y}\right) - \mu \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} \right| \frac{\partial \overline{W}/\partial x}{\partial \overline{W}/\partial y}} \qquad (13)$$

autre expression de cette tension de Reynolds

$$\frac{- \rho \overline{u' w'}}{\rho Cp \overline{u'\theta'}} = - \frac{\mu'}{\lambda'} \frac{\partial \overline{W}/\partial x}{\partial \overline{T}/\partial x} \qquad \text{Posons } P'_r = \frac{\mu' Cp}{\lambda'}$$

$$- \rho \overline{u' w'} = \rho p'_r \frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \frac{\overline{W}_o}{2} \frac{\partial \overline{x'^2}}{\partial z} (1 + a x') \text{ avec } \frac{\partial \overline{W}}{\partial_x} = a \overline{W}_o$$

$$\boxed{- \rho \overline{u' w'} = p'_r \frac{\rho \overline{W}_o^2}{2} a (1 + a x') \frac{\partial \overline{x'^2}}{\partial z}} \qquad (14)$$

5.3.2 - Calcul du rapport d'anisotropie $k = \frac{\mu'_{xz}}{\mu'_{yz}}$

Pour un écoulement dans un canal de section rectangulaire [1]

$\tau = \tau_o (1 - y/Y)$ avec $\tau_o = \rho W_*^2$

$$\tau = \mu \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} - \rho \overline{v' w'} = (\mu + \mu'_{yz}) \frac{\partial \overline{W}}{\partial y}$$

$$\tau = (\mu + \mu'_{yz}) \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} \frac{W_*^2}{\nu} \frac{\nu}{W_*} \frac{1}{W_*} = (\mu + \mu'_{yz}) \frac{\partial \overline{W}_+}{\partial y_+} \frac{W_*^2}{\nu}$$

- Dans la zone centrale du canal

$$\overline{W}_+ = \overline{W}_{max} - \alpha \left(1 - \frac{y_+}{Y_+}\right)^2$$

$$\frac{\partial \overline{W}_+}{\partial y_+} = \frac{2\alpha}{Y_+} \left(1 - \frac{y}{Y}\right)$$

Ainsi

$$\tau = (\mu + \mu'_{yz}) \frac{2\alpha}{Y_+} \left(1 - \frac{y}{Y}\right) \frac{W_*^2}{\nu} = \tau_o \left(1 - \frac{y}{Y}\right)$$

$$(\mu + \mu'_{yz}) \frac{2\alpha}{\mu Y_+} = 1$$

d'où $$\frac{\mu'_{yz}}{\mu} = \frac{Y_+}{2\alpha} - 1$$

- Dans la zone logarithmique des vitesses (cette région du canal intéresse l'application numérique précédente).

$$\overline{W}_+ = 5,65 \log_{10} y_+ + K$$

$$\frac{\partial \overline{W}_+}{\partial y_+} \simeq \frac{2,455}{y_+}$$

et $$\tau = (\mu + \mu'_{yz}) \frac{2,455}{y_+} \frac{W_*^2}{\nu} = \tau_o \left(1 - \frac{y}{Y}\right)$$

$$\left(1 - \frac{y}{Y}\right) = \frac{(\mu + \mu'_{yz})}{\mu} \frac{2,455}{y_+}$$

d'où $$\frac{\mu' yz}{\mu} = \frac{y_+}{2,455} \left(1 - \frac{y}{Y}\right) - 1$$

3 - DEFINITION DES MESURES A EFFECTUER

Il est difficile de dégager, des observations expérimentales, une loi de variation des phénomènes de la diffusion turbulente en fonction du nombre de Reynolds. Afin de donner une indication qualitative en plus ou en moins de ces effets, nous opérerons pour deux nombres de Reynolds (180 000 et 810 000).

Le fil chauffant sera tendu normalement aux isovitesses dans la région où $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \simeq o$ puis à des abscisses XF telles que le gradient de vitesse transversal puisse être considéré comme constant sur toute l'étendue de la diffusion. Pour chacun de ces cas, 4 séries de mesures seront faites à YS constant, YS définissant le plan de sondage.

Le fil métallique chauffant, tendu à l'abscisse XF, sera situé à la cote ZF par rapport à la section où s'effectuent les mesures.

a) Près de la source

La relation [8] sera applicable pour des temps de diffusion très petits devant $\mathcal{T}_L$ donc pour des valeurs de $ZF < \Omega_L$.

Les longueurs de corrélation Ω_L obtenues par JULLIEN [4] varient, de 2 à 5mm en fonction de la distance à la paroi.

Nous ne ferons aucune mesure près de la source.

b) Loin de la source

Pour définir la direction assymptotique de la courbe définie par l'équation (10) il faut opérer avec des temps de diffusion très grands devant $\mathcal{T}_L$.

Or [4] $\mathcal{T}_L$ est de l'ordre du $\frac{1e}{100}$ de seconde ou L de l'ordre de 200 mm soit $ZF > L$.

c) Nous effectuerons enfin des mesures pour $\Omega_L < ZF < L$

II - INSTALLATION EXPERIMENTALE

1 - DEFINITION DU CANAL

1.1 - Caractéristiques de la section droite du canal

Le canal est constitué de deux parois planes parallèles d'épaisseur 10 mm. Il est fermé sur un côté par un longeron d'épaisseur 50 mm définissant ainsi la distance entre les deux plans. L'autre côté du canal peut être :

- simplement fermé à l'aide d'un profilé démontable en tôle de 2 mm.

Le canal, ainsi réalisé, a une section rectangulaire de 50 x 450 mm de côtés.

- communiquant avec un canal secondaire à section carrée de 200 mm de côté.

Figure 1.

1.2 - Eléments constituant le canal

La chambre, entourant le filtre, permet de prélever à 2,5 mètres du sol un fluide à une température uniforme.

Le canal principal est en trois tronçons de 2 mètres de longueur. La section de mesure étant à 5 mètres de l'entrée à bords francs.

A la suite des travaux de DEISSLER [16] et MOREL [17], la longueur d'établissement du régime est établie à 30 fois le diamètre hydraulique pour un canal, de section rectangulaire allongée, ayant une entrée à bords vifs et pour $R_e > 50\,000$. Si nous extrapolons ce résultat à notre canal.

$$D_H = 4 \frac{S}{P} = 4 \frac{6,004}{1,83} 10^{-2} = 13,12 10^{-2} \text{ m}$$

$$L_e = 30 D_H = 3,95 \text{ m}$$

Ces indications nous montrent que dans la région où s'effectuent les mesures ($4 \text{ m} < L < 5 \text{ m}$), le régime peut ne pas être établi.

Le canal secondaire en tôle de 2 mm est rapporté par vis au canal principal. Des regards transparents permettent toutes observations visuelles et donnent accès aux appareils de mesure disposés dans le canal.

Un dispositif de profilés et d'entretoises raidissent l'ensemble. L'écartement entre les plans est réglé au montage grâce à un ensemble de tiges filetées. Un venturi sonique raccorde le canal à une soufflante NEU entraînée par un moteur de 500 chevaux.

Les mesures ont été effectuées pour des nombres de Reynolds de 180 000 et 810 000.

1.3 - Aménagements du canal en vue des diverses mesures à effectuer

Pression statique :

28 prises de pression statique sont aménagées sur les parois supérieures et inférieures du canal principal et 24 sur le canal secondaire.

Sondes de température et de pression dynamique :

Deux boutonnières, l'une aménagée sur la paroi supérieure du canal principal et l'autre sur la paroi verticale du canal secondaire, permettent d'explorer tous les points de la section de mesure. Un sondage à 1 m en amont de cette section permet de contrôler l'établissement du régime.

Elément de chauffage :

- Diffusion parallèlement aux isovitesses.

Le fil chauffant traverse les deux plaques du canal principal, l'isolation électrique est assurée par des manchons en céleron. Les différentes positions du fil chauffant sont définies par 9 rangées de 20 trous représentées sur la figure 2. Les distances ZF entre le fil chauffant et le plan de mesure peuvent être fixées entre 15 mm et 850 mm à $\pm$ 1 mm près.

Remarque :

Des difficultés, rencontrées lors du montage du canal, ont entraîné des modifications non prévues et délicates. Les axes définitifs des trous de passage du fil chauffant sont connus à $\pm$ 0,5 mm ; le défaut d'alignement des trous de la paroi supérieure avec ceux de la paroi inférieure est de l'ordre du millimètre.

- Diffusion perpendiculairement aux isovitesses

Le montage du fil chauffant est assuré par le longeron, la paroi verticale du canal secondaire et des supports intermédiaires soutenant les fils d'amenée du courant électrique, sur lesquels il est brasé

2 - EQUIPEMENT DU CANAL EN VUE DES DIVERS ESSAIS

2.1 - Lunettes de visées optiques

L'emploi de lunettes permettant d'effectuer des visées précises à l'intérieur du canal figure 3 est très important pour différentes raisons :

- la distance 2Y entre les deux plans du canal doit être réglée au montage ; il est donc indispensable de pouvoir s'assurer qu'elle peut effectivement être considérée comme constante.

- en charge, une telle structure subit des déformations considérables. Nous avons constaté que la distance 2Y atteignait la valeur 2Y - 1,5 mm en régime maximum (R_e = 810 000).

- le fil chauffant, tendu en travers de l'écoulement ne doit pas vibrer et l'amplitude de son mouvement doit être imperceptible [7].

- les positions relatives des diverses sondes doivent être relevées avec précision par rapport aux axes de référence.

En conséquence, une lunette fixe permet de viser perpendiculairement aux plans du canal tout objet amené à la cote x_o de référence. Une deuxième lunette mobile permet de viser parallèlement à ces plans. Elle est équipée d'un oculaire micrométrique qui nous permet, après étalonnage, d'effectuer des relevés de longueur très précis ; les objets peuvent être visés de 40 cm à l'infini.

2.2 - Dispositif porte-sonde

La sonde de température ou de pression est montée sur un support rendu mobile dans le plan x o y grâce à deux vis à pas fin permettant des positionnements au $\frac{1e}{100}$ de millimètre près.

La boutonnière permettant le libre passage des sondes est obstruée par une lame métallique souple, appliquée par dépression, contre un joint en caoutchouc.

2.3 - Source chauffante

Le diamètre de la source chauffante, réalisée en fil métallique long de 5 cm, doit être tel que les mesures effectuées dans son sillage ne soient pas influencées par sa présence. La puissance dissipée par celui-ci doit être suffisante pour créer une élévation de température raisonnable à ZF = 850 mm. Enfin la tension du fil doit être très importante si l'on veut supprimer toute vibration.

L'étude de ce compromis [11] permet de conclure que pour un fil métallique de 0,32 mm, des mesures convenables peuvent être obtenues dans un tube lisse de diamètre 78 mm pour un nombre de Reynolds de 10 000 à des distances ZF comprises entre 2,54 à 453,2 mm. Les auteurs opèrent à l'aide d'une thermistance de diamètre 0,254 mm et constatent que les distorsions, introduites par le fil métallique, se manifestent dans les mesures de température moyenne par des profils de température non gaussiens à 2,54 mm et 5,02mm du fil métallique.

Nous avons opéré nos mesures avec des fils en tungstène de diamètre 0,3 mm. Quelques essais ont été effectués à l'aide de fils de 1 et 0,05 mm de diamètre.

Le montage des fils chauffants est représenté par la figure 4.

Les alimentations de courant sont brasées au fil et pénètrent à l'intérieur des célerons protégeant l'élément chauffant contre toute élévation de température inadmissible.

Le courant électrique maximum est fonction du refroidissement, il est ajusté de telle façon que le fil ne rougisse pas afin d'éviter son oxydation à chaud. Nous utilisons une alimentation en courant continu régulé par un redresseur à puissance variable.

III - APPAREILLAGE DE MESURE

1 - MESURES DE PRESSION

Les pressions statiques sont relevées en 28 points des parois du canal principal et en 24 points des parois du canal secondaire.

Les pressions dynamiques sont relevées à l'aide d'un tube de Pitot, de diamètre extérieur 2 mm, dans la section droite du canal secondaire.

Les pressions totales sont relevées dans la section du canal principal à l'aide de sondes hypodermiques de diamètre extérieur 0,5 mm et de diamètre intérieur 0,3 mm figure 5.

La mesure des pressions à bas régime (R_e = 180 000) se fait par un micromanomètre différentiel type Fortier. En régime maximum (R_e = 810 000) elle se lit sur un banc de manomètres à eau colorée.

2 - DETERMINATION DES VITESSES

Les pressions dynamiques définies précédemment nous permettent d'évaluer les vitesses locales de l'écoulement étudié.

$$W = \sqrt{2\ Cp\ (T_{ar} - T)}$$

avec $$T = T_{ar} \left(\frac{p}{P_{ar}}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

Cp et γ sont déterminés en fonction de p et T au cours du calcul ittératif de la vitesse.

La pression d'arrêt p_{ar} et la température d'arrêt T_{ar} sont définies expérimentalement. Un thermocouple chromel-alumel disposé dans l'écoulement à l'amont du venturi permet de mesurer T_{ar}.

Nous avons évalué l'erreur que nous commettrions en supposant que le fluide restait incompressible. Pour les vitesses maximum, elle atteint $\frac{2}{100}$.

Corrections des vitesses et des positions

Les principales corrections que nous avons appliquées tiennent compte de la compressibilité du fluide et de la diminution de la section droite du canal due aux dimensions du corps de la sonde plongée en travers de l'écoulement.

Dans la section principale les pressions dynamiques sont relevées à l'aide d'une

sonde de petites dimensions et faible longueur. Les corrections sont négligées et les vitesses calculées sont supposées exactes aux erreurs expérimentales près. Figure 12 nous constatons que les vitesses, déduites des mesures relevées à partir de la paroi verticale du canal secondaire, sont supérieures de $\frac{3,5}{100}$ environ aux mêmes vitesses définies précédemment. Cette perturbation est due à l'encombrement du corps du tube de Pitot d'un diamètre 5 mm et long de 300 mm qui réduit la section de passage du fluide. Une correction empirique est donc appliquée. Elle assure une représentation continue du profil des vitesses au raccordement des différentes courbes.

Afin de ne pas introduire de perturbation dans les mesures lorsque la sonde est trop près de la paroi, nous avons éliminé les relevés effectués à $y_o \leq k\,d$ c'est-à-dire à des distances de 2 à 3 fois le diamètre de la sonde. La correction de position $\delta = k'\,d$ est négligeable devant la précision des relevés (BARRAT [15] donne $k' = 0,2$). Précisons enfin qu'aucune correction de turbulence n'a été faite. En effet, pour les faibles intensité de la turbulence, ce qui est notre cas,

$$W = W_{mes} \sqrt{1 - \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2}} \sim W_{mes} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2}\right) \text{ HINZE [30]}$$

Or, pour une intensité de $\frac{15}{100}$ cette correction est de $\frac{1}{100}$ et elle décroît à mesure que l'on s'éloigne des parois en suivant une loi qui ne peut être déterminée qu'expérimentalement comme l'ont fait COANTIC [13], LAWN [14].

3 - MESURE DES TEMPERATURES

Les températures ont été relevées avec deux types d'appareils

- Un couple thermoélectrique chromel-alumel placé à l'amont du venturi permet des relevés de températures moyennes d'arrêt. En effet, l'intertie mécanique des appareils utilisés pour mesurer la force électromotrique créée par le couple est telle que les fluctuations de la température sont indécelables.

- Les températures sont relevées dans le sillage du fil à l'aide d'une thermistance de très petites dimensions soudée sur les deux branches d'une tête de sonde DISA figure 6.

3.1 - Principales caractéristiques de la thermistance utilisée

Nous utilisons une thermistance-perle isolée sous cristal de résistance R_o à 25°C.

$R_o = 2000\ \Omega \pm 1\%$

Le diamètre extérieur du cristal est de 0,35 mm et les fils, reliant la thermistance à la tête de sonde, un diamètre de 0,02 mm.

La constante de dissipation dans l'air, caractérisant la puissance en milliwatts qui élèvera la thermistance de 1°C au-dessus de la température ambiante, est de 0,1.

Le temps nécessaire pour que la thermistance change sa température de 63 %, depuis sa température initiale à la température à laquelle elle est soumise, est de 1 seconde.

Le taux de variation entre les résistances à 0°C et 50°C est de 5,7.

3.2 - Etalonnage de la thermistance.

L'étude de l'échauffement de la thermistance lorsque celle-ci est parcourue par un courant électrique I a été faite au repos (R_e = o) et en soufflerie (R_e = 180 000). La variation de sa résistance, présentée figure 7, est pratiquement nulle lorsqu'elle est parcourue par un courant de 50 μ A. Elle est de $\frac{1}{1\,000}$ lorsque l'intensité atteint 100 μ A et ceci dans un écoulement d'air à R_e = 180 000. Pour tous nos essais, nous adopterons un courant de 100 μA, ce courant étant maintenu rigoureusement constant afin d'éliminer cette cause d'erreur.

La résistante de la thermistance est de la forme :

$$R_{th} = \alpha\, e^{\beta/T}$$

En figure 8 nous présentons sa courbe d'étalonnage

α = 0,08454 Ω

β = 3002,6 °K

La température d'arrêt du fluide est définie à l'aide du couple thermoélectrique présenté au début de ce paragraphe avec une précision de l'ordre de 0,02 °C. La valeur de la résistance est mesurée à l'aide de l'installation qui sera décrite dans ce chapitre avec une précision de 1 Ω.

Les valeurs numériques de α et de β sont connues avec une précision relative inférieure au dix millième à la suite de 120 relevés expérimentaux. Notons que les chiffres retenus étaient déjà atteints pour le traitement de 80 de ces relevés.

3.3 - Précision des mesures de température

Compte tenu de la précision relative, inférieure au millième, avec laquelle sont connues les grandeurs α et β nous pouvons évaluer la plus petite élévation de température que pourra mesurer la thermistance utilisée.

Puisque $\text{Log}\, R_{thi} = \text{Log}\, \alpha + \frac{\beta}{T_i}$

alors $$\delta T_i \leq \frac{T_i^2}{\beta} \left(\frac{\delta \alpha}{\alpha} + \frac{\delta \beta}{T_i} + \frac{\delta R_{th\,i}}{R_{th\,i}} \right)$$

L'appareillage utilisé permet la lecture de R_{thi} au deuxième d'ohm. Mais, étant donné le caractère aléatoire de T_i, donc de R_{thi} et compte tenu de la constante de temps de la thermistance, la valeur de la résistance ne peut pas être connue avec une précision inférieure à 1 ohm, pour une intensité de turbulence liée à des variations de R_{th} comprises entre :

$R_{th} - 5\,\Omega$ et $R_{th} + 5\,\Omega$

Les grandeurs sans dimensions $\frac{\delta \alpha}{\alpha}$, $\frac{\delta \beta}{T_i}$ et $\frac{\delta R_{thi}}{R_{thi}}$ sont donc du même ordre de grandeur, mais, puisque nous évaluons une différence de deux températures T_{io} avant et T_i pendant le chauffage du fil métallique, c'est $\delta(T_i - T_{io}) = \delta(\Delta T_i)$ qui nous intéresse avec $T_i \simeq T_{io} \simeq 300$ °K.

$$\delta(\Delta T_i) \leq 2\, \frac{T_i^2}{\beta}\, \frac{\delta R_{thi}}{R_{thi}}$$

La résistance R_{thi} variant au cours de nos essais, de la valeur 1 800 Ω à la valeur 2 500 Ω.

$\delta\ (\Delta T_i) \leq 0{,}03\,°K$

pour une mesure effectuée sur un temps d'intégration de 10 secondes.

A cette erreur de lecture s'ajoute une erreur systématique beaucoup plus importante. Elle est due aux variations de la température ambiante pendant la durée de la mesure. L'interruption des essais à la suite d'une ouverture de porte permet de limiter cette incertitude à quelques homs.

Pour $(\delta\,\Delta\,R_{th})_s \leq 4\ \Omega$

$(\delta\,\Delta\,T_i)_s \leq 0{,}06\,°K$

Ces incertitudes permettent de négliger l'erreur de classe de l'appareillage utilisé.

Pour une mesure faite aux conditions les plus défavorables $\delta\,\Delta\,T_i \leq 0{,}1\,°K$.

Remarquons que, pour de nombreux essais, nous avons pu opérer avec des températures d'entrée variant très lentement. Dans de telles conditions nous pouvons espérer réaliser $\delta\,\Delta\,T_i \leq 0{,}05\,°K$.

Le nombre des mesures est défini de telle façon que $\frac{\delta\,\Delta\,T_i}{\Delta\,T_i} \leq \frac{5}{100}$; précisons également que le temps de réponse des appareils de mesure de la résistance R_{th} est trop court pour que les grandeurs lues correspondent à des valeurs moyennes intégrées dans le temps. Un prélèvement statistique est donc nécessaire et la précision obtenue dans la mesure des échauffements importants ($\Delta\,T_i$ supérieur à 0,5 °K) est donc très grande. Lors des mesures effectuées derrière le fil métallique, il conviendra d'interpréter prudemment les grandeurs marginales du sillage.

3.4 - Réalisation du montage

Nous avons vu que pour pouvoir négliger l'erreur de classe de l'appareillage il suffisait de pouvoir effectuer une mesure de résistance avec une précision inférieure à 1 Ω.

Le montage adopté nous permet de mesurer le dixième d'ohm. C'est avec les objectifs énoncés précédemment que nous avons été amené à relever les valeurs des résistances R_{thi} par l'intermédiaire d'un voltmètre électronique couplé avec une perforatrice IBM (figure 10). Un tel ensemble nous a permis de réduire au minimum admissible (10 secondes) le temps qui sépare deux mesures successives pendant lequel la température ambiante est susceptible de varier. D'autre part, la transposition directe des résultats sous forme de cartes perforées nous a permis un traitement plus rationnel de ces informations.

En faisant débiter, par une batterie de 6 Volts, un courant de 100 μA à travers la thermistance de résistance 2 000 ohms environ il apparaît aux bornes de cette dernière une différence de potentiel de 0,2 Volts. C'est cette dernière grandeur que nous enregistrons, la transposition du résultat en ohm est immédiate puisque les chiffres significatifs sont les mêmes.

Le principe de la mesure est basé sur le fait que l'intensité I qui parcourt la thermistance est constant. Son échauffement, très faible (figure 7), sera sans influence sur

les mesures. Mais puisque nous devons mesurer une différence de résistance, voyons dans quelle condition il faudra réajuster la valeur de cette intensité entre deux mesures successives.

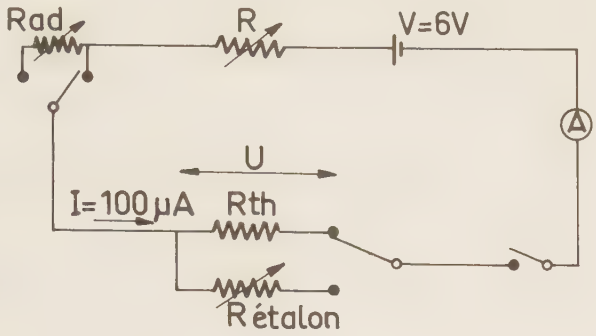


Figure 9

Des relations électriques $V = (R_{th} + R)\, 1$

et $U = R_{th}\, 1$

nous pouvons déduire que la variation relative de U sera égale à :

$$\frac{\delta U}{U} = \frac{\delta R_{th}}{R_{th}} - \frac{\delta R_{th}}{R_{th}+R}$$

$\frac{\delta R_{th}}{R_{th}+R}$ représente l'erreur que l'on commet en supposant que le courant 1 qui traverse la thermistance reste inchangé lorsque la résistance R_{th} a été modifiée de δR_{th}.

Pour une valeur de R_{th} égale à 2 000 Ω, il faut ajuster la résistance R à la valeur 18 000 Ω.

Compte tenu des précisions escomptées, il est raisonnable d'accepter une erreur de $\frac{\delta R_{th}}{R_{th+R}} \leq \frac{1}{2\,000}$ ce qui nous accorde une variation $\delta R_{th} \leq 20\ \Omega$ pour laquelle aucune correction de la résistance R n'est à apporter.

Au delà de cette variation, une résistance additionnelle à la résistance R permet de ramener le courant à une intensité de 100 µA.

Cette opération est assurée en substituant une résistance étalon à la thermistance.

IV - MESURES EFFECTUEES

1 - DEFINITION DE LA GEOMETRIE DU CANAL

Notre travail ayant pour but l'étude de la diffusion thermique il est indispensable de préciser les conditions géométriques et aérodynamiques qui contribueront à la définir.

Les résultats expérimentaux obtenus jusqu'à ce jour montrent qu'il est difficile de dégager une loi de variation des phénomènes de la diffusion turbulente en fonction du nombre de Reynolds. Nous avons opéré à deux régimes que nous avons retenus pour des considérations de résistance mécanique du canal et pour les répartitions de vitesse qu'ils réalisaient.

1er régime $R_e = 180\,000$ ou $\frac{W.\,4\,Y}{\nu} = 120\,000$ (Venturi Φ 91,85 mm)

2e régime $R_e = 810\,000$ ou $\frac{W.\,4\,Y}{\nu} = 520\,000$ (Venturi Φ 200 mm)

A ces différents Reynolds, outre les grandeurs aérodynamiques, nous avons déterminé la déformée du canal au droit de la section de mesure et vérifié l'établissement du régime.

1.1 - Déformée du canal plan

1.1.1 - Mesure de la distance entre les deux plans

Peut-on considérer que la partie central du canal principal est équivalente à celle que l'on aurait avec deux plans parallèles infinis ? Pour répondre à cette question nous avons mesuré la distance entre les plans pour différentes abscisses x.

La figure 11 représente la déformée δy du canal et la distance $2\,Y$ entre les plans aux deux régimes.

La distance entre les deux plaques est donc une fonction de l'abscisse x. A $R_e = 180\,000$ nous pouvons la considérer comme constante à $\frac{2e}{1\,000}$ près mais au régime maximum ($R_e = 810\,000$), la pression qui règne à l'intérieur du canal est telle que ses parois subissent de grandes déformations élastiques. Le parallélisme n'est réalisé qu'à $\frac{3}{100}$ près.

Nous avons constaté, sans pouvoir la mesurer avec précision, que cette déformée évoluait le long du canal. Les mesures effectuées au comparateur à différentes distances z indiquent une flèche légèrement inférieure à celle observée au droit de la section de mesure.

En conséquence l'écoulement unidirectionnel sera réalisé avec une bonne précision si la distance entre les plaques est réglée, au montage, avec soin.

La figure 10 montre les dispositifs de réglage par vis et écrous qui nous donnent à 0,1 mm près une distance 2Y constante.

Pour un R_e = 180 000 cette précision est maintenue mais elle ne l'est plus à R_e = 810 000 puisqu'elle est liée aux déformations d'un système élastique près-contraint.

1.2 - Etablissement du régime

Nous avons vu au chapitre II que la région du canal située entre 4 et 5 mètres de son entrée pouvait ne pas être en régime établi sur cette longueur de 1 mètre.

Nous avons donc relevé les pressions dynamiques dans la section située à 5 mètres de l'entrée à bords vifs du canal puis à 900 mm à l'amont de celle-ci, à l'aide de deux sondes de Pitot montées à demeure sur la tôle verticale du canal secondaire. La qualité du canal en tôle permet de définir les coordonnées des points de mesure avec une précision de l'ordre du millimètre. L'analyse des courbes obtenues, figure 12, montre qu'entre les 2 sections distantes de 900 mm, la répartition des vitesses est différente.

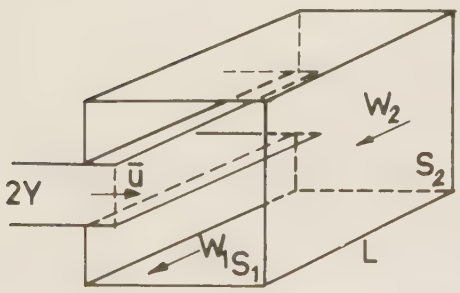
Cette différence est de l'ordre du pour cent et elle ne nous permet pas d'affirmer que la longueur de 4 mètres est suffisante pour assurer l'établissement du régime.

Mais si nous considérons la qualité géométrique du canal en tôle, nous pourrions également justifier cette différence de vitesses obtenue dans des sections dimensionnellement distinctes puisque les écarts de hauteur mesurés au montage, sont de 2 millimètres environ.

La différence entre les vitesses maxima aux différents Reynolds est à

$$R_e = 180\,000, \quad (W_{max}\,(\text{amont}) - W_{max})/W_{max} = 2/100$$

et à $$R_e = 810\,000, \quad (W_{max}\,(\text{amont})\ \ W_{max})/W_{max} = 2/100$$



Compte tenu de ces répartitions de vitesse, nous pouvons reprendre le calcul permettant d'évaluer l'ordre de grandeur de $\bar{u}$.

$\bar{W}_1$: vitesse moyenne mesurée dans la section S_1

$\bar{W}_2$: vitesse moyenne mesurée dans la section S_2 à $y = C^{te}$.

Equation de conservation de la masse

$$\int_{S_1} \rho_1 \bar{W}_1 (x, y)\, dx\, dy - \int_{S_2} \rho_2 \bar{W}_2 (x, y)\, dxdy - \rho_{moy}\, 2YL\, \bar{u} = o$$

Nous aurons une nouvelle évaluation du rapport $\frac{\bar{u}}{W}$ en proposant un ordre de grandeur des intégrales, du type ρ_{moy}. S. $(\Delta \bar{W})$ moy :

$$\boxed{\frac{\bar{u}}{W} \simeq \frac{(\Delta \bar{W})\ moy}{W} \quad \frac{S}{2YL}} \qquad (15)$$

2 - EVOLUTION DE LA PRESSION STATIQUE LE LONG DU CANAL

2.1 - Venturi de 91,85

Le débit étant imposé par le venturi sonique, de diamètre au col égal à 91,85mm, les mesures aérodynamiques ont été faites pour une section droite du canal conforme à la figure 1 : les deux sous-canaux étant en communication dans un premier temps puis ensuite séparés par une paroi amovible.

2.1.1 - Les deux sous-canaux séparés

Cette manipulation nous permettra de définir l'intéraction du canal secondaire sur le régime aérodynamique du canal principal. Elle permettra en outre de vérifier l'établissement du régime dynamique et de déceler les éventuelles perturbations qui remonteraient l'écoulement du convergent à la section de mesure.

La figure 13 nous montre que les perturbations ne remontent pas l'écoulement jusqu'à la section de mesure puisqu'aucune anomalie n'est décelée dans le canal secondaire. La perte de charge singulière, créée par la boutonnière de passage des sondes de mesure, perturbe l'évolution des pressions statiques à l'aval de la section de mesure.

Dans le canal principal $\frac{dp}{dz}$ = constante = - 47,9 N/m^3, la masse volumique de l'alcool étant de 802,85 kg/m^3 à la température de 21,4°C.

2.1.2 - Les deux sous-canaux en communication

Dans le canal principal, l'évolution des pressions statiques suit une loi analogue à la précédente.

Dans le canal secondaire, nous enregistrons une dispersion des points expérimentaux, qui est certainement due à la qualité des prises de pression exécutées sur des parois en tôle.

La température étant de 23,8° ; $\frac{dp}{dz}$ = - 33,7 N/m^3.

2.2 - Venturi de 200

Nous constatons, figure 14, une dispersion des points expérimentaux analogue à celle que nous avons constatée précédemment.

Le long du canal principal la pression suit une évolution linéaire

$\frac{dp}{dz}$ = - 697 N/m^3 à 22,1°C

3 - CHAMP DE VITESSE

Une exploration systématique de la section droite du canal nous permet de calculer (comme nous l'avons défini au chapitre III) les vitesses locales de l'écoulement.

3.1 - Courbes isovitesses

Nous présentons, figure 15, deux réseaux d'isovitesses obtenus avec le venturi à col sonique de diamètre 91,85 mm ; les deux sous-canaux étant isolés par une paroi amovible ou en communication.

Il est intéressant de remarquer que la répartition des débits entre les deux sous-canaux (0,535 kg/s et 1,025 kg/s) ne subit qu'une légère modification lorsque l'on retire

la paroi mobile. Les vitesses maxima diminuent dans le canal principal et dans le canal secondaire.

Le gradient de vitesse transversal $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x}$ devient notable aux limites de l'écoulement plan (côté longeron et côté ouvert). Il est pratiquement nul à une distance x = 250 mm du longeron.

C'est donc dans ces régions que nous étudierons la diffusion de la chaleur derrière un fil chaud.

à $x \simeq Y$; 250 mm et 406 mm

3.2 - Profils des vitesses

L'exploration systématique, nécessaire à l'établissement des cartes de vitesse, a été faite aux deux régimes aérodynamiques.

- dans les quatre plans retenus pour l'étude de la diffusion à $y = C^{te}$ de façon à définir, sans autres intermédiaires de calcul, les vitesses locales et gradients de vitesse transversaux.

- les mesures effectuées près des parois, à $x = C^{te}$, nous permettront de vérifier les lois sur les profils de vitesse et d'en déduire les tensions de frottements locales.

4 - COURBES DE DIFFUSION DE LA CHALEUR DERRIERE UN FIL CHAUD

Des principaux résultats de l'étude aérodynamique, consignés dans le Tableau n° 1, il ressort que la région du canal où le gradient de vitesse transversal est maximum est située près du longeron qui limite les plans du canal. Sa variation, en fonction de x, y est très rapide jusqu'à une distance de 3 Y du longeron.

Afin d'étudier le rôle que joue un gradient de vitesse transversal sur le phénomène de la diffusion, il est important d'opérer dans des zones où il peut être considéré comme constant sur l'étendue des mesures.

Nous avons retenu, pour l'étude des sillages, diverses régions du canal que nous définirons par l'abscisse XF du fil chauffant.

Ces mesures sont présentées dans les tableaux n° 18 à 55.

4.1. - Positionnement du fil chauffant

4.1.1 - XF = 22,4 mm :

Région où l'écoulement plan est fortement perturbé par la présence du longeron. C'est ici que les effets des courants secondaires, signalés par SCHLICHTING [26] et PRANDTL [27], doivent être les plus sensibles.

Nous constatons au cours de ces essais que le sillage turbulent, qui prend naissance derrière le fil tendu en travers de l'écoulement, subit l'influence directe de la paroi tant en ce qui concerne le ripage de son axe central que sa symétrie par rapport à cet axe. En particulier pour des temps de diffusion très grands, la largeur du sillage est suffisante pour permettre des échanges d'énergie par conduction entre le fluide et le longeron.

4.1.2 - XF = 98 mm

L'écoulement plan est encore perturbé par la présence du longeron mais cette fois les courbes expérimentales de diffusion relevées derrière le fil chauffant ne présentent plus de dissymétrie.

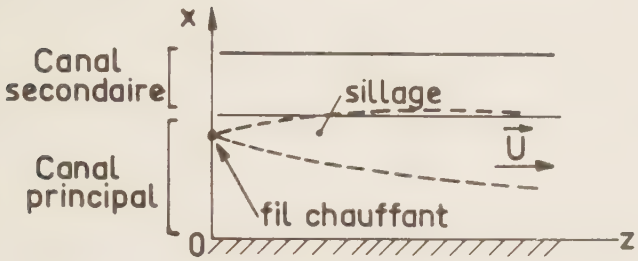
Ces essais permettront de comparer nos observations à celles de plusieurs expérimentateurs [3], [4] qui opèrent près de la paroi, à la limite de la zone logarithmique des vitesses.

4.1.3 - XF = 247 mm

Cette région du canal est particulièrement intéressante puisque le gradient de vitesse transversal y est pratiquement constant et nul.

4.1.4 - XF = 406,4

Le gradient de vitesse transversal y est sensiblement constant et maximum, pour notre canal, sur une étendue correspondant à la largeur du sillage créé par le fil chauffant.



4.2 - Plans de sondage

Nous explorons les sillages selon des plans situés au centre du canal, à la limite de la zone logarithmique des vitesses et dans ces deux zones de vitesse.

Au chapitre I, l'établissement de l'équation (11) suppose que les échanges d'énergie entre les couches fluides d'épaisseur Δy restent nuls en moyenne. La validité de cette hypothèse peut être vérifiée expérimentalement.

C'est à dire $\Delta y \int_{-\infty}^{\infty} \rho \, Cp \, \overline{W} \, \overline{T} \, dx = C^{te}$

L'intégration de cette équation nous a montré que la puissance linéique dissipée par le fil métallique n'était pas uniforme tout au long de son axe. Les couches fluides considérées, d'épaisseur Δy, étant à des températures différentes et croissantes à mesure que l'on s'éloigne des parois, des échanges d'énergie deviennent possibles. Or expérimentalement, on constate que ces derniers sont de nature très complexe.

- L'énergie transportée par une couche fluide d'épaisseur Δy subit une variation de l'ordre de 5 % après un parcours de 200 mm.

- Dans la région du canal où le gradient de vitesse transversal est pratiquement nul (à XF = 248 mm) l'énergie diminue au centre et augmente près des parois à mesure que le sillage se développe.

- Dans la région à fort gradient de vitesse, c'est-à-dire où la grandeur adimensionnelle $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \frac{2Y}{\overline{W}}$ est maximum (XF = 407 mm), nous observons le phénomène inverse. L'énergie augmente au centre du canal et diminue près des parois.

4.3 - Etude de l'anisotropie de la diffusion de la chaleur

Nous venons de définir une étude de la diffusion parallèlement aux isovitesses à XF = 247 mm. Il est donc tout indiqué de retenir, pour l'étude de la diffusion perpendiculairement aux isovitesses, le plan de sondage situé à la cote XS = 247 mm. Le fil est tendu à YF = 19 mm. Dans cette région du canal les vitesses évoluent lentement en fonction de la distance au fil et le gradient de vitesse $\frac{\partial \overline{W}}{\partial y}$ est pratiquement nul dans la partie centrale du sillage qui se développe derrière le fil métallique. Cette remarque nous amènera à considérer que seules les mesures faites sur une faible étendue seront susceptibles de s'aligner sur une courbe d'allure gaussienne. Alors que les autres points devront subir une correction analogue à celle pratiquée par FAYET [12].

V - PRESENTATION DES RESULTATS

1 - VITESSE DEBITANTE ET DEBIT MASSIQUE

1.1 - Débit déduit du champ de vitesse

$$\rho\, S\, W = \rho \int_S \overline{W}\, dS$$

La détermination de cette intégrale de surface ne peut être résolue que graphiquement à partir du champ des isovitesses (figure 15). Nous obtenons avec le venturi de diamètre 91,85 mm

$$\int_S \overline{W}\, dS = 1{,}322\ m^3 s$$

Ce qui nous donne avec $S = 6{,}004\ 10^{-2}\ m^2$ $1{,}15 < \rho < 1{,}18\ kg/m^3$ $1{,}52 < q < 1{,}56$ kg/s et $W = 22{,}1$ m/s.

La méthode étant très incertaine, une meilleure évaluation du débit massique nous sera donnée par l'emploi des relations sur les cols soniques [18] et [19].

1.2 - Débit calculé par les relations sur les cols soniques

Si nous appelons S* la section du col sonique le débit massique peut être calculé par la relation

$$q = \alpha S^* \rho \sqrt{\gamma r T} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

L'air étant supposé obéir aux lois des gaz parfaits $r \simeq 287$ MKSA

$$\rho = \frac{p}{rT} \quad \text{et} \quad \gamma \sim 1{,}4$$

p et T sont les pressions et températures d'arrêt que l'on mesure à l'amont du col sonique.

$$\alpha = \left(1 - \frac{7{,}7}{\sqrt{Re_{col}}}\right) \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S^*}{S_{amont}}\right)^2 \left(\frac{2}{\gamma+1}\right) \right]$$

Ainsi $$q \simeq 0{,}0405 \left[1 + 0{,}2 \left(\frac{S^*}{S_{amont}}\right)^2 \right] S^* \frac{P}{\sqrt{T}}$$

- Venturi Φ 91,85 mm

$p = 94\,900$ Pa ; $T = 297{,}9$ °K ; $S^* = 0{,}662\,10^{-2}\ m^2$; $\rho = 1{,}18\ kg/m^3$

$q = 1{,}46$ kg/s

Nous constatons un écart de l'ordre de 6 % entre la valeur calculée et celle obtenue par intégration graphique. Cet écart est principalement dû aux élévations de vitesse créées par la sonde de Pitot qui obstrue la section au cours des mesures (figure 12). La vitesse débitante

$$W = \frac{q}{\rho S} = 21,25 \text{ m/s}$$

Le nombre de Reynolds de l'écoulement avec $D_H = 13,12.10^{-2}$ m ; $\mu = 1,82.10^{-5}$ daPo et $\rho = 1,18$ kg/m^3.

$$R_e = \frac{W D_H}{\nu} = 180\,000$$

Venturi Φ 200

$p = 91\,400$ Pa ; $T = 295,6$ °K ; $S^* = 3,142.10^{-2} m^2$; $\rho = 1,090$ kg/m^3

$q = 7,05$ kg/s

$W = 107,8$ m/s

Avec $\mu = 1,82.10^{-5}$ daPo et $\rho = 1,04$ kg/m^3

$R_e = 810\,000$

2 - PRESSIONS STATIQUES ET PERTE DE CHARGE

2.1 - $R_e = 180\,000$ Venturi de 91,85

2.1.1 - Les deux sous canaux séparés

La détermination expérimentale de $\frac{dp}{dx}$ nous permet de calculer la valeur moyenne de W* (la vitesse de frottement) qui pourra être comparée aux valeurs locales déduites du profil des vitesses moyennes (figure 18).

La variation de la quantité de mouvement pour un canal de section droite S et de périmètre P.

$$S \frac{d}{dz} (\rho W^2) = - S \frac{dp}{dz} - P \overline{\tau_o}$$

L'équation de conservation de la masse nous donne pour un gaz parfait

$$\frac{S}{P} \frac{dp}{dz} (1 - \rho \frac{W^2}{p}) = - \overline{\tau_o} = - \rho \overline{W}_*^2$$

où $\overline{\tau_o}$ représente la contrainte de cisaillement moyenne sur la paroi ; ainsi

$$\overline{W}_* = \left[\frac{S}{\rho P} (- \frac{dp}{dz}) (1 - \rho \frac{W^2}{p}) \right]^{1/2}$$

Au chapitre précédent, nous avons évalué $\frac{dp}{dz} = - 47,9$ N/m^3 (2.1.1) avec $\frac{S}{P} \simeq Y = 25,21$ et $W = 19,7$ m/s.

Pendant les mesures de pressions, $\rho = 1,176$ kg/m^3 et $p = 100\,264$ Pascals ainsi $\overline{W}* = 1,012$ m/s.

Cette valeur est bien représentative de la valeur moyenne des W* locaux déduits des profils de vitesse.

2.1.2 - Les deux sous-canaux en communication

Avec W = 21,25 m/s la vitesse de débit à travers la surface $S = 6{,}004.10^{-2} m^2$. Le périmètre de la section droite P = 1,83 m.

Nous pouvons donc évaluer la vitesse moyenne de frottement avec $\frac{dp}{dz} = - 33{,}7\ N/m^3$.

ainsi $\overline{W}* = 0{,}966$ m/s

Cette valeur moyenne est supérieure à toutes vitesses de frottement locales définies à partir des profils de vitesse dans le canal principal (figure 18).

2.2 - R_e = 810 000 Venturi de 200

$W = 107{,}8$ m/s et $\frac{dp}{dz} = - 697\ N/m^3$

d'où $\overline{W}* = 4{,}34$ m/s

Comme précédemment nous constatons que $\overline{W}*$ est supérieur aux valeurs locales accessibles par l'expérience dans le canal principal.

2.3 - Coefficient de perte de charge

On obtient le coefficient moyen $\overline{\Omega}$, déduit de l'évolution des pressions statiques, par la relation

$$\overline{\Omega} = 8 \left(\frac{\overline{W}*}{W}\right)^2 = \frac{4\,S}{\frac{\rho W^2}{2} P} \left(- \frac{dp}{dz}\right) \left(1 - \rho \frac{W^2}{p}\right)$$

D'autre part, nous pouvons calculer le coefficient de Darcy par utilisation de la relation empirique

$$\frac{1}{\sqrt{\overline{\Omega}\,1}} = - 2 \log \left(A + \frac{B}{R_e \sqrt{\overline{\Omega}\,1}}\right)$$

A est un coefficient proportionnel à la rugosité relative des parois du canal.

B coefficient dont la valeur généralement admise est telle que 2 log B = 0,8

- R_e = 180 000.

$\overline{\Omega} = 1{,}925\ 10^{-2}$

Une valeur analogue pour $\overline{\Omega}_1$ est obtenue en supposant que les aspérités du canal (célerons, poussières...) donnent une rugosité relative de 0,0005.

- R_e = 810 000

$\overline{\Omega} = 1{,}295\,10^{-2}$

Cette fois, la valeur de $\overline{\Omega}_1 = 1{,}295.10^{-2}$ correspond à une rugosité relative inférieure à 0,0001.

Cette variation de rugosité moyenne est effective puisque, comme nous l'avons déjà signalé, le canal a été repris et les célerons modifiés à la suite des essais aérodynamiques effectués avec le venturi de 91,85 mm. Par le même occasion, nous avons refoulé certains célerons qui ne reconstituaient pas la paroi. L'élimination de ces rugosités artificielles justifie la diminution de leur valeur relative moyenne de 0,0005 à 0,0001.

3 - LOI LOGARITHMIQUE DES VITESSES

L'étude du coefficient de perte de charge, nous amène à étudier le profil des vitesses dans la zone logarithmique.

De l'étude des tableaux n° 4 à 17, il ressort que pour des distances à la paroi plane du canal principal, les vitesses suivent une loi du type :

$$\overline{W} = A \log_{10} y + B \text{ pour } y_o \leq y \leq 0,2\ Y$$

y_o est de l'ordre de trois fois le diamètre extérieur de la sonde.

Pour établir la loi universelle :

$$W_+ = A_1 \log_{10} y_+ + B_1 \quad \text{où} \quad W_+ = \frac{\overline{W}}{\overline{W}_*} \quad \text{et} \quad y_+ = \frac{y W_*}{\nu}$$

nous ne pouvons pas utiliser la vitesse de frottement $\overline{W}_*$, calculée au paragraphe précédent, cette dernière représentant la moyenne des valeurs locales prises sur le contour de la section droite.

Pour un écoulement près d'une paroi plane [21]

$$A_1 = (1 + \frac{\alpha_1}{R_e})\ 5,65 \text{ et } B_1 = (1 + \frac{\alpha_2}{R_e})\ b$$

La détermination expérimentale de A_1 et B_1 reste délicate. Les résultats obtenus par différents chercheurs montrent que A_1 augmente avec le nombre de Reynolds alors que B_1 diminue.

Ainsi pour DEISSLER [16], LAUFER [22], COANTIC [13], COMTE-BELLOT [23], LAWN [24]... : A_1 varie de 5,50 à 6,6 et B_1 de 3,8 à 7,1.

Adoptons la loi proposé par le Professeur FORTIER [21]

$$A_1 = (1 + \frac{\alpha_1}{R_e})\ 5,65 \simeq 5,65 \text{ pour } R_e > 100\,000$$

Les valeurs ainsi obtenues pour W_+ et y_+ sont reportées sur les figures 16 et 17.

Définissons le nombre de Reynolds, non plus à partir de la vitesse débitante de l'écoulement et du diamètre hydraulique du canal mais par la relation $R'_e = \frac{W1.4Y}{\nu}$ où W1 représente la vitesse moyenne calculée par l'intégration numérique suivante à l'abscisse XS :

$$W1 = \frac{1}{2Y} \int_0^{2Y} \overline{W}(y)\ dy$$

Les valeurs de B_1 que nous obtenons sont effectivement fonction du nombre de Reynolds R'_e

Pour $R'_e = 120\,000$ $B_1 \simeq 5,35$

$R'_e = 130\,000$ $B_1 \simeq 4,6$ (sous canaux séparés)

$R'_e = 520\,000$ $B_1 \simeq 3,9$

Signalons enfin que le profil logarithmique n'est obtenu que pour XS > 4Y.

Avec la valeur de A_1 que nous avons prise égale à 5,65, la valeur locale de la vitesse de frottement peut être calculée :

$$W_* = \frac{A}{A_1} \quad \text{A étant défini expérimentalement}$$

Figure 18, nous représentons l'évolution de W* locale aux différents régimes. Les coefficients de perte de charge, calculés par la relation

$\Omega = 8 \left(\frac{W*}{Wl} \right)^2$ avec $Wl = \frac{1}{2Y} \int_0^{2Y} \overline{W}(x_1, y)\, dy$ sont reportés dans le tableau n° 2.

Nous pouvons constater qu'ils sont tous supérieurs à la valeur moyenne calculée par $\frac{dp}{dz}$.

TABLEAU N° 1

R_e	XF (mm) / YS (mm)	22,8		98		248		407	
		$\overline{W}$ m/s	$\partial\overline{W}/\partial x$ m/s. m	$\overline{W}$ m/s	$\partial\overline{W}/\partial x$ m/s. m	$\overline{W}$ m/s	$\partial\overline{W}/\partial x$ m/s. m	$\overline{W}$ m/s	$\partial\overline{W}/\partial x$ m/s. m
180 000	25,6	18,87	146	20,98	10,1	21,57	~ 0	22,4	33
	15,6	18,45	59	19,96	11,4	20,55	~ 0	21,6	32
	5,6	15,98	- 3,5	17,31	8,5	17,86	~ 0	18,2	25
	2,6	14,18	10,5	15,37	6,9	16,02	~ 0	16,2	15
810 000	24,7	93,8	550	104,3	35	108,1	~ - 10	111,2	135
	14,7	90,5	150	100,4	45	103,5	~ 0	107,2	165
	4,7	81,2	0	87,8	55	90,8	~ 0	95,2	182
	1,7	69,9	~ 0	77,3	90	80,3	~ 0	85,0	214

TABLEAU N° 2

R_e	W* (m/s)	$\overline{\Omega}$	XF (mm)	2 Y	Wl (m/s)	$\frac{4.Wl.Y}{\nu}$	$\frac{\mu Cp}{\lambda}$	W* (m/s)	Ω
180 000	0,966	0,01925	22,8	50,36	16,86	106 800	0,708	0,892	0,02245
			98	50,46	18,31	117 000	0,708	0,928	0,02050
			248	50,32	18,92	120 600	0,708	0,934	0,01945
			407	50,4	19,65	130 000	0,708	-	-
810 000	4,34	0,01295	248	48,95	96,5	530 000	0,704	4,273	0,01570
			407	48,85	99,1	540 000	0,704	-	-

Principaux résultats de l'étude aérodynamique

4 - COURBES DE DIFFUSION DERRIERE UN FIL

Nous opérions dans des conditions expérimentales telles que les conditions aux frontières ne pouvaient plus être considérées comme stationnaires. Aux moyennes dans le temps, nous avons dû substituer des moyennes statistiques en pratiquant des prélèvements selon le mode défini au paragraphe 3.3 du chapitre III.

Dans les tableaux n° 18 à 55 nous donnons les valeurs brutes moyennées de ces différents échantillons.

Les courbes n° 30 à 41 représentent la distribution de ces valeurs expérimentales par rapport à une courbe gaussienne passant au mieux par ces différents points. (Nous ne reproduisons que quelques courbes caractéristiques).

4.1 - Remarques découlant de l'observation de ces courbes de température

4.1.1 - Près du longeron XF ≃ Y

Ces essais nous permettent de corréler nos observations à celles de TACCOEN [3] et FAYET [12] qui tendent un fil près d'une paroi. Allure des courbes de diffusion.

a) Dans une section, située à 55 mm du fil chauffant (ZF ≃ 2Y), la répartition des températures est symétrique par rapport à un axe.

- Cet axe n'est pas commun aux différentes courbes relevées et si X_{moy} définit la position de cet axe, X_{moy} - XF est une fonction de la distance à la paroi y = YS.
- Le "glissement" des courbes, relevées dans le sillage du fil, montre qu'il tend à s'éloigner du longeron. Il reste à peu près centré au milieu du canal.
- Comme nous l'avons signalé au chapitre précédent, la puissance linéique dissipée par le fil chauffant n'est pas uniforme.

b) Dans une section située à 175 mm (ZF ≃ 7Y), les courbes relevées n'ont plus de symétrie.

- Cette dissymétrie s'accentue lorsque la distance à la paroi diminue.
- Le sillage tend à se rapprocher du longeron.

c) Dans une section située à 825 mm (ZF ≃ 83Y), il est difficile de définir la nature des courbes observées.

Si la partie "droite" des courbes de température correspond à une distribution gaussienne, l'autre est influencée par la température du longeron. Cette élévation de température est provoquée par le sillage lui-même qui vient échauffer les parois du canal.

- Le centre de gravité des courbes de température tend à se rapprocher du longeron.

Notons que ces observations sont conformes à celles faites par FAYET [12] aux faibles distances ZF du fil, le sillage s'éloigne du longeron alors que la répartition des températures subit un étalement du côté de la paroi lorsque ZF augmente (ZF > 4 Y environ).

4.1.2 - Loin du longeron

Les essais effectués en tendant le fil chauffant à XF = 4Y nous donnent des courbes de température symétriques, à profil gaussien (aux imprécisions expérimentales près). Le sillage, qui se développe derrière le fil, s'écarte régulièrement du longeron. X_{moy} - XF atteint 1,5 mm à une distance ZF = 825 mm.

La diffusion a été tout particulièrement étudiée dans les régions de la section droite du canal où le gradient de vitesse transversal $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x}$ pouvait être assimilé à une constante sur une largeur correspondant à l'étendue du sillage exploré.

Pour caractériser ce gradient, posons :

$$\alpha_1 = \frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \frac{2Y}{\overline{W}}$$

$\alpha_1 \simeq$ o à l'abscisse x = 250 mm

α_1 est maximum et pratiquement constant à x = 407 mm.

4.2 - Forme des courbes de répartition des températures

4.2.1 - Diffusion parallèlement aux isovitesses ($\alpha_1 \simeq$ o)

Ce sont des courbes possédant un axe de symétrie et dont les points s'ajustent avec une bonne approximation à des lois gaussiennes du type

$$\Delta \overline{T} = \Delta \overline{T}_{max} \, e^{-\frac{x'^2}{2\overline{x'^2}}}$$

Les variances $\overline{x'^2}$ de la loi de répartition des températures est donc égale à la variance de la courbe de gauss. Comme nous l'avons vérifié, en effectuant des séries d'essais avec différents diamètres de fil chauffant, cette variance dépend des dimensions de la source. Une correction sera nécessaire, elle sera étudiée au paragraphe 6.

4.2.2 - Diffusion dans la région à fort gradient de vitesse transversal (α_1 maxi)

Nous constatons que, comme précédemment, nous obtenons encore des courbes de gauss. Une telle affirmation demande à être justifiée numériquement.

Pour ce faire, nous utilisons la relation établie par HINZE et VAN DER HEGGE ZIJNEN [5] équation valable dans le cadre de nos hypothèses.

$$\Delta \overline{T} = \Delta \overline{T}_{max} \left[\frac{1 + \left(\frac{x'}{z}\right)^2}{1 - 2R \frac{\sqrt{\overline{w'^2}}}{\sqrt{\overline{u'^2}}} \frac{x'}{z} + \frac{\overline{w'^2}}{\overline{u'^2}} \left(\frac{x'}{z}\right)^2} \right]^{1/2} A \qquad (16)$$

$$A = \exp\left[- \frac{\overline{W}^2 \left(\frac{x'}{z}\right)^2}{2\,\overline{u'^2}\left(1 - 2R\,\frac{\sqrt{\overline{w'^2}}}{\sqrt{\overline{u'^2}}}\,\frac{x'}{z} + \frac{\overline{w'^2}}{\overline{u'^2}}\left(\frac{x'}{z}\right)^2\right)} \right]$$

où le coefficient de corrélation R est défini par

$$R = \frac{\overline{u'\,w'}}{\sqrt{\overline{u'^2}}\,\sqrt{\overline{w'^2}}} = - \frac{\overline{W}^2}{\sqrt{\overline{u'^2}}\,\sqrt{\overline{w'^2}}}\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{\text{calculée}}$$

Compte tenu des travaux de M. COANTIC [13], LAUFER [12] COMTE-BELLOT [24] et C.J. LAWN [25] nous admettrons que l'intensité de la turbulence est isotrope (en fait on observe une anisotropie de rapport inférieur à 2).

Comme nous le verrons dans le tableau n° 3 pour l'ensemble des essais :

$$0{,}024 < \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\overline{W}} < 0{,}049.$$

Dans le paragraphe suivant nous évaluons $\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{maxi}$ de l'ordre de 60.10^{-6}.

Donc en première approximation $2R\,\frac{\sqrt{\overline{w'^2}}}{\sqrt{\overline{u'^2}}} \simeq 0{,}2.$

Le gradient de vitesse transversal variant peu, dans la région du canal définie par l'étendue maximum des courbes de température étudiées, nous pouvons poser :

$$\overline{W} = \overline{W}_o\,(1 + a\,x')$$

En posant :

$$\frac{x'}{z} = \epsilon\,ax' = \pi \qquad 2R\,\frac{\sqrt{\overline{w'^2}}}{\sqrt{\overline{u'^2}}} = k \quad \text{et} \quad \frac{\overline{w'^2}}{\overline{u'^2}} = k'$$

L'équation (16) peut se mettre sous la forme :

$$\frac{\Delta\,\overline{T}}{\Delta\,\overline{T}_{max}} = \left(\frac{1 + \epsilon^2}{1 - k\,\epsilon + k'\,\epsilon^2}\right)^{1/2} \exp\left[- \frac{\overline{W}_o^2}{2\,\overline{u'^2}}\,\frac{\epsilon^2\,(1+\pi)^2}{1 - k\,\epsilon + k'\,\epsilon^2}\right]$$

Evaluons la valeur maximum que prend π au cours de nos essais. Elle atteint $7{,}6.10^{-2}$ lors du sondage près de la paroi avec $R_e = 810\,000$, ZF = 828 mm et XF = 407 mm ($\epsilon \simeq \frac{30}{828}$ et $\frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}_o^2} \simeq 16{,}8.10^{-4}$).

Un développement limité de l'équation (14) peut donc être fait :

$$\frac{\Delta\,\overline{T}}{\Delta\,\overline{T}_{max}} \simeq \left(1 + \frac{k}{2}\,\epsilon - \frac{\overline{W}_o^2}{\overline{u'^2}}\,\pi\,\epsilon^2 + \ldots\right) e^{-\frac{\overline{W}_o^2}{2\,\overline{u'^2}}\,\epsilon^2}$$

Or $\epsilon_{maxi} \simeq 0,05$ il est donc possible d'évaluer l'écart maximal décelable par rapport à la loi gaussienne $e^{-\frac{\overline{W}_o^2}{2\overline{u'^2}}\epsilon^2}$

$$(\frac{k}{2}\epsilon)_{maxi} \simeq 0,005$$

$$(\frac{\overline{W}_o^2}{\overline{u'^2}}\pi\epsilon^2)_{maxi} \simeq 0,06$$

Conclure que la distribution de température est gaussienne revient à commettre une erreur $\frac{\delta\Delta(\overline{T})}{\Delta\overline{T}} < \frac{5,5}{100}$.

Nous avons vu que la précision des relevés expérimentaux, que nous escomptions, était inférieure ou égale à $\frac{5}{100}$. Il est donc matériellement impossible de différencier ces courbes de la loi normale (aux erreurs expérimentales près).

Une justification analogue peut être faite en utilisant la solution de l'équation de la diffusion :

$$\overline{W}_o\,(1 + a\,x')\,\frac{\partial\overline{T}}{\partial z} = \frac{\lambda'}{\rho\,Cp}\,\frac{\partial^2\overline{T}}{\partial x^2}$$

qui a été établie par LAUWERIER [10] en fonction des variables adimensionnelles

$$\pi = a\,x' \quad \text{et} \quad \xi = \frac{a^2\lambda'}{\overline{W}_o\,\rho\,Cp}\,z$$

Or, pour $\xi_1 = 0,005$, la solution correspond à une courbe en cloche dont la dissymétrie ne peut plus être décelée par des relevés expérimentaux.

Si nous reprenons le cas étudié précédemment à ZF = 825 mm

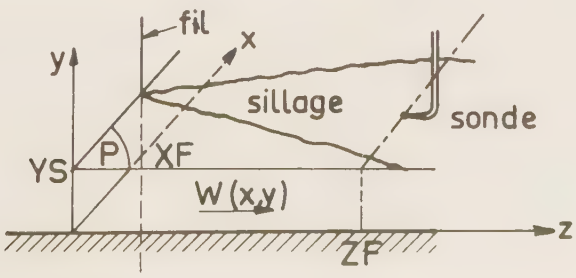
$a = 2,5\ m^{-1}$ $\overline{W}_o = 85\ m/s$ $\frac{\lambda'}{Cp} = 15,6.10^{-3}$

$\xi = 0,95.10^{-3} < \xi_1$

Les points expérimentaux s'alignent sur une courbe de gauss de variance $\overline{x'^2}$. Les écarts par rapport à cette courbe moyenne de répartition des températures et les erreurs d'origine expérimentale sont du même ordre de grandeur.

5 - DEPLACEMENT MOYEN DES PARTICULES

Le fil chauffant est tendu à l'abscisse XF. Le sondage en température, dans le plan situé à la distance YS de la paroi, est effectué à une distance ZF du fil.



Nous venons de voir que les courbes de répartition des températures étaient d'allure gaussienne. Soit X_{moy} le centre de gravité de ces courbes. Le déplacement moyen des particules peut donc être déterminé expérimentalement par la relation :

$$\overline{x'} = X_{moy} - XF$$

La variation de $\overline{x'}$, en fonction de z, de la distance à la paroi et du nombre de Reynolds, est représentée sur les figures 19 et 20.

Un tel déplacement du sillage présente différents aspects selon la région du canal dans laquelle il se développe et apparaît, aux imprécisions près, indépendant du nombre de Reynolds de l'écoulement.

5.1 - Allure des déplacements $\overline{x'} = f(z)$

- à XF = Y, le centre des courbes de température se déplace vers les x croissants en s'éloignant du longeron puis, lorsque la longueur de diffusion (z) augmente, $\overline{x'}$ devient négatif.

- à XF = 4Y, $\overline{x'}$ reste toujours positif et atteint 1,5 mm à la distance z = 825 mm.

- à XF = 10Y le gradient de vitesse transversal est pratiquement constant et nul. Les figures 19 et 20 nous montrent que $\overline{x'}$ est pratiquement indépendant de la distance à la paroi YS et atteint 3,8 mm à la distance z = 825 mm.

- à XF = 16 Y, α_1 atteint sa valeur maximum et le gradient de vitesse transversal y est pratiquement constant $\alpha_1 = \frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \frac{2Y}{\overline{W}}$ est fonction de YS.

Nous constatons que dans cette région du canal, proche du canal secondaire, $\overline{x'}$ est une fonction de z et de YS. Aux grandes longueurs de diffusion (z = 825 mm) les dimensions du sillage et son glissement sont tels qu'il déborde des limites géométriques du canal principal. Les courbes de répartition des températures présentent alors une nette dissymétrie. Le déplacement moyen des particules atteint ici 2,5 à 12 mm en fonction de la distance à la paroi, $\overline{x'}$ augmentant à mesure que l'on s'en rapproche.

5.2 - Analyse des phénomènes susceptibles de provoquer un déplacement transversal moyen des particules fluides

- L'abscisse moyenne des particules venant du fil chauffant est, à la cote z, directement proportionnelle à la tension de Reynolds :

Equation (9) : $\frac{\overline{x'}}{z} = - \frac{\overline{u'w'}}{\overline{W}^2}$

- Elle peut être due à une variation en fonction de z de la section droite du canal principal :

Equation (11) : $\frac{\overline{x'}}{z} = k \frac{\delta y}{4L} \frac{1}{Y}$ avec $k < 1$

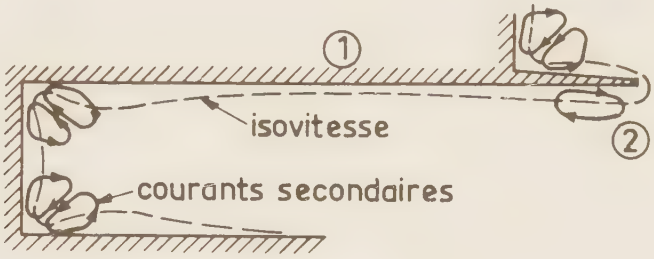
- De même, les variations de la section droite du canal secondaire en tôle peuvent être la cause d'un non établissement du régime des vitesses et provoquer ainsi un déplacement transversal moyen des particules dans le canal principal :

Equation (15) : $\frac{\overline{x'}}{z} = \frac{(\Delta \overline{W})_{moy}}{W} \frac{S}{2YL}$

avec $(\Delta \overline{W})_{moyen} = \frac{1}{\rho S_{moy}} \left[\int_{S_1} \rho_1 \overline{W}_1 (x,y)\, dx.dy - \int_{S_2} \rho_2 \overline{W}_2 (x,y)\, dx.dy \right]$

- Parmi les actions susceptibles de provoquer le glissement des sillages, citons les courants secondaires évoqués par SCHLICHTING [26] et PRANDTL [27].

Dans la section droite du canal rectiligne que nous utilisons, certaines anomalies observées lors du tracé des isovitesses trouvent une justification. Dans les coins anguleux, les vitesses ont une importance inattendue. Cela se traduit par une déformation des isovitesses vers l'intérieur de l'angle que l'on justifie par l'existence de courants secondaires (figure 15).



Dans l'ensemble de la section, l'importance relative de ces courants ne peut pas être définie. Remarquons qu'en 1 ils sont pratiquement inexistants alors qu'en 2 ils sont certainement très importants.

5.3 - Calcul du déplacement transversal moyen - Discussion

Nous allons chiffrer les importances relatives des différents phénomènes évoqués en (5.2) et les confronter aux valeurs expérimentales présentées en (5.1).

5.3.1 - Tension de Reynolds

L'équation (9) $\frac{\overline{x'}}{z} = - \frac{\overline{u'w'}}{\overline{W}^2}$ nous permet d'évaluer $\overline{x'}$ en utilisant, pour calculer $-\overline{u'w'}$, les relations (13) ou (14)

a) - Calcul de $-\overline{u'w'}$ par la relation (13)

$$-\rho\, \overline{u'w'} = k \left[\rho W_*^2 \left(1 - \frac{y}{Y}\right) - \mu \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} \right] \frac{\partial \overline{W}/\partial x}{\partial \overline{W}/\partial y}$$

Au centre du canal (y = Y) la tension de Reynolds est nulle. Près de la paroi à y = 2,6 mm, XF = 406,5 mm avec R_e = 180 000.

$$\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \simeq 15 \frac{m}{s.m} \quad \frac{\partial \overline{W}}{\partial y} \simeq 10^3 \frac{m}{s.m} \quad \overline{W} \simeq 16,2 \frac{m}{s} \quad W_* \simeq 1,04 \frac{m}{s}$$

En supposant $k \simeq 4$ (d'après les travaux de KJELLSTROM [29])

$$-\rho\, \overline{v'w'}\ 1,21\ N/m^2$$

$$-\rho\, \overline{u'w'}\ 7,28.10^{-2}\ N/m^2$$

et $\frac{\overline{x'}}{z} \simeq 200\, 10^{-6}$

Cette valeur est négligeable devant la grandeur observée expérimentalement qui est de l'ordre de $14\ 10^{-3}$ dans ce cas.

b) - Calcul de $\frac{\overline{x'}}{z}$ par la relation (14)

$$- \rho\ \overline{u'w'} = p'_r\ \rho\ \frac{\overline{W}_o^2}{2}\ \frac{\partial\ \overline{x'^2}}{\partial\ z}\ a\ (1 + a\ x')$$

En $x' = o$

$$- \rho\ \overline{u'w'} = p'_r\ \frac{\rho\ \overline{W}}{2}\ \frac{\partial\ \overline{W}}{\partial\ x}\ \frac{\partial\ \overline{x'^2}}{\partial\ z} = \rho\ \overline{W}^2\ \frac{\overline{x'}}{z}$$

Soit $$\frac{\overline{x'}}{z} = \frac{Pr'}{2W}\ \frac{\partial \overline{W}}{\partial\ x}\ \frac{\partial\ \overline{x'^2}}{\partial\ z}$$

L'ordre de grandeur du déplacement transversal moyen peut être obtenu, pour l'exemple précédent, en utilisant la valeur expérimentale de $\frac{\partial\ \overline{x'^2}}{\partial\ z}$ (tableau n° 3).

$$\frac{\partial\ \overline{x'^2}}{\partial\ z} \sim 0{,}423 \text{ mm}$$

Ainsi

$$\frac{\overline{x'}}{z} \sim 0{,}196.\ P'_r.\ 10^{-3}$$

c) L'hypothèse d'isotropie est donc à rejeter ($k \neq 1$) puisque nous obtenons les ordres de grandeurs suivants

$$\frac{\overline{x'}}{z} \simeq k\ 50\ 10^{-6} \simeq p'_r\ 0{,}196\ 10^{-3}$$

En conclusion, les tensions de Reynolds ne permettent pas d'expliquer les déplacements $\overline{x'}$ observés expérimentalement.

5.3.2 - Calcul du rapport d'anisotropie k

Reprenons l'application numérique au point de coordonnées (406,5 mm ; 2,6 mm) avec $R_e = 180\,000$.

$$p'_r = \frac{\mu'_{xz}\ Cp}{\lambda'_{xz}} = k\ \frac{\mu'_{yz}}{\mu}\ \frac{\lambda}{\lambda'_{xz}}$$

$$\frac{\mu'_{yz}}{\mu} \simeq \frac{175}{2{,}455}\ 0{,}897 - 1 \simeq 63\ ; \qquad \frac{\lambda'_{xz}}{\lambda} \simeq 156 \text{ (tableau n° 3)}$$

et $$p'_r \simeq \frac{k}{2{,}46} \text{ avec } p'_r \text{ voisin de l'unité}$$

Ce rapport est différent de celui qui a été calculé en 5.3.1 où $k \simeq 3{,}92\ p'_r$. La cause principale d'erreur était due au calcul du rapport $\frac{\partial \overline{W}/\partial x}{\partial \overline{W}/\partial y}$.

S'il est important de remarquer, qu'en ce point de la zone logarithmique des vitesses, le rapport d'anisotropie est de l'ordre de $2{,}5\ P'_r$, le nombre de Prandlt fictif ainsi défini reste indéterminé. Une étude anémométrique des moments $\overline{u'w'}$ et $\overline{v'w'}$ permettait d'évaluer k d'une manière plus directe.

$$k = \frac{\overline{u' w'}}{\overline{v' w'}} \quad \frac{\partial \overline{W} / \partial y}{\partial \overline{W} / \partial x}$$

5.3.3 - Contribution de la variation des vitesses moyennes

La modification du champ des vitesses, d'une section S_1 à une section S_2 située à une distance L de la précédente, donne naissance à un écoulement transversal des particules fluides.

a) Elasticité des parois du canal

La déformée des plaques planes-parallèles a été relevée dans la section de mesure. Or cette flexion est maximum puisqu'elle intéresse le milieu d'une travée délimitée par les dispositifs de mise en tension du canal (le rôle de ces derniers est de régler la distance 2Y entre les plans du canal principal. Ils sont visibles figure 10. Les déformations des extrêmités de cette travée seront égales aux allongements par traction des axes de réglage du parallélisme des plans.

L'influence de ces imperfections géométriques du canal, sur le déplacement transversal moyen des particules $\overline{x'}$ peut être évaluée par la relation (11).

$$\frac{\overline{x'}}{z} = k \quad \frac{\delta y l}{4LY} \quad \text{avec } k < 1$$

$R_e = 180\,000$

Avec $\delta y_{maxi} = 0{,}1$ mm L = 1 m I = 450 mm Y ≃ 25 mm

$$\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_1}} = k \quad \frac{0{,}1 \times 450}{4 \times 10^3 \times 25} = 4{,}5.10^{-4} \,.\, k \quad \text{avec } k < 1$$

$R_e = 810\,000$

A ce régime la déformée maximum atteint 1,5 mm

$$\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_2}} = k' \quad \frac{1{,}5 \times 450}{4 \times 10^3 \times 25} = 6{,}75.10^{-3} \,.\, k' \quad \text{avec } k' < 1$$

Expérimentalement, les ordres de grandeur de ces déplacements moyens en XF = 407 mm peuvent être évalués respectivement à :

$$\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_1}} \simeq \frac{7{,}5}{800} = 9{,}4.10^{-3}$$

et

$$\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_2}} \simeq \frac{5}{800} = 6{,}25.10^{-3}$$

En conclusion, si le défaut de parallélisme des parois devait être retenu, nous pourrions parfaitement justifier les résultats obtenus à grand Reynolds. Par contre, à bas régime il n'y aurait plus de justification possible.

Nous ne retiendrons pas ce phénomène pour expliquer les déplacements observés expérimentalement.

b) Profil des vitesses moyennes

La figure 12 nous montre que le profil des vitesses, relevées sur l'axe du canal dans deux sections distantes de 900 mm, a subi une évolution. La relation (15) permet une évaluation de $\frac{\overline{x'}}{z}$ dû à cette modification du régime.

$$\frac{\overline{x'}}{z} \quad \frac{(\Delta \overline{W})\ moy}{W} \quad \frac{S}{2YL}$$

$(\Delta \overline{W})_{moy}$ représente la moyenne des variations de vitesse, dans la section transversale S, sur une longueur L du canal. Elle ne peut pas être évaluée avec les seuls relevés expérimentaux présentés figure 12.

$$S = 3{,}72.10^{-2}\ m^2 \ ; \ Y \simeq 25\ mm \ ; \ L = 900\ mm$$

et $\frac{(\Delta \overline{W})\ moy}{W}$ sera grossièrement évalué afin de calculer un ordre de grandeur du glissement $\overline{x'}$.

$R_{e_1} = 180\,000$

$$\frac{(\overline{W}_{max})_{amont} - (\overline{W}_{max})_{aval}}{\overline{W}_{max}} \simeq 0{,}0176 \qquad \frac{(\Delta \overline{W})_{moy}}{W} \simeq 0{,}0045$$

et $\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_1}} \simeq 45\ 10^{-4} \quad \frac{372}{5 \times 90} = 3{,}7\ 10^{-3}$

$R_{e_2} = 810\,000$

$$\frac{(\overline{W}_{max})_{amont} - (\overline{W}_{max})_{aval}}{\overline{W}_{max}} \simeq 0{,}021 \qquad \frac{(\Delta \overline{W})_{moy}}{W} \simeq 0{,}005$$

et $\left(\frac{\overline{x'}}{z}\right)_{R_{e_2}} \simeq 5\ 10^{-3} \quad \frac{372}{5 \times 90} = 4{,}15\ 10^{-3}$

Ces ordres de grandeur du glissement transversal moyen correspondent avec les faits expérimentaux.

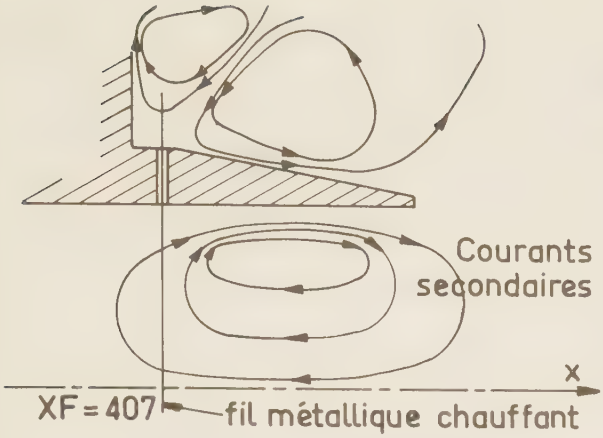
La modification du profil des vitesses moyennes permet de justifier, en partie les courbes des figures 19 et 20.

Le sillage, qui se développe derrière un fil tendu à l'abscisse XF = 248 mm, subit un ripage vers le canal secondaire ($\overline{x'} > o$), indépendamment de la distance à la paroi.

A l'abscisse XF = 406,5 mm, le sillage glisse toujours vers les x croissants ($\overline{x'} > o$) mais ce déplacement est très inégal selon que l'on se place près d'une paroi ou au centre du canal.

Comparé au glissement uniforme, observé à XF = 248 mm, ce mouvement est "accéléré" en y = 0,1 Y alors qu'il est "freiné" en y = Y.

Nous pensons que les courants secondaires, intenses dans cette région du canal, sont responsables de ces modifications.



- Près de la paroi ils entraînent les particules vers les x croissants.

- Au centre du canal ils les entraînent vers les x décroissants.

- Ce mouvement des particules se superpose à celui qui est dû à une géométrie imparfaite du canal réel (réalisé avec des tolérances de fabrication appropriées). Les courbes des figures 19 et 20 correspondent donc à ces effets cumulés.

6 - VARIANCE DE LA LOI DE REPARTITION DES TEMPERATURES

6.1 - Vérification expérimentale des hypothèses de base

L'étude de la diffusion telle que nous l'avons envisagée revient à suivre l'évolution de courbe de distribution de température dans une couche mince de fluide parallèle aux plans des parois du canal. Pour que cette étude soit justifiable, il est important de s'assurer que le champ de température est approximativement bidimensionnel. Les résultats présentés au chapitre IV nous permettent de conclure que cette hypothèse est vérifiée avec une précision satisfaisante au centre du canal.

La variance des courbes de répartition des températures sera étudiée dans un plan à $y = C^{te} = YS$.

Si la diffusion moléculaire est négligeable devant la diffusion turbulente, l'équation de conservation de l'énergie admet pour solution l'équation (12)

$$\overline{u'\theta'} = - \frac{\overline{W}}{2} \frac{\partial \overline{x'^2}}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{avec} \quad \overline{W} = \overline{W}_o \ (1 + ax')$$

Nous avons montré au paragraphe 4.2 que les effets du gradient de vitesse transversal ne pouvaient être décelés au cours de ces essais. En conséquence, la variance de la loi de répartition des températures est égale à la variance de la loi normale s'ajustant au mieux avec les relevés expérimentaux.

La validité de l'hypothèse précédente près des parois sera vérifiée figure 25 par la loi de la variance en coordonnées réduites.

6.2 - Loi de la variance, due à la turbulence, en écoulement non perturbé

La variance de la loi de répartition des températures, qui est déterminée expérimentalement, est relative à une source de petite dimension tendue en travers de l'écoulement.

Elle est représentative de la diffusion moléculaire et turbulente des particules.

$$\overline{x'^2} = X^2 + \frac{2\lambda}{\rho Cp} t$$

avec $t = \frac{x}{\overline{W}}$ d'après l'hypothèse de Taylor.

$\frac{2\lambda.t}{\rho Cp}$ représente la variance due à la diffusion moléculaire seule après un temps de diffusion t dans un écoulement non perturbé par la présence d'un fil (DFIL = o).

X^2 la variance due à la turbulence derrière un fil de diamètre DFIL. Soit X^2_o cette variance pour un écoulement non, perturbé (DFIL → o).

L'équation (12) doit donc s'écrire

$$-\overline{u'\theta'} = +\frac{\overline{W}}{2}\frac{\partial X^2_o}{\partial z}\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\lambda'}{Cp}\frac{\partial T}{\partial x}$$

λ' s'identifie à la conductibilité thermique turbulente du milieu gazeux si $\frac{\partial X_o^2}{\partial z}$ a atteint une limite telle que $\frac{\partial X^2_o}{\partial z} = C$ quel que soit $z > z^*$.

6.2.1 - Calcul de la variance pour un écoulement non perturbé

Pour un écoulement non perturbé par la présence d'une source de chaleur, la variance admet pour expression (1.2.6)

$$X^2_o = 2\overline{u'^2}\frac{ZL}{\overline{W}^2}\left[z + ZL\left(e^{-\frac{z}{ZL}} - 1\right)\right]$$

La fonction représentative de la variance, pour un fil de diamètre nul, passe par l'origine. Or les valeurs expérimentales de X^2, définies après correction du terme dû à la diffusion laminaire, ne permettent pas de tracer une courbe passant par zéro.

Des essais, effectués à l'aide de sources linéaires de diamètres différents, nous constatons que X^2 est directement lié aux dimensions du fil chauffant. Une correction aisée, sur les valeurs de X^2, sera pratiquée si l'on ramène l'étude de la variance à celle d'une fonction linéaire en z.

Ainsi en posant :

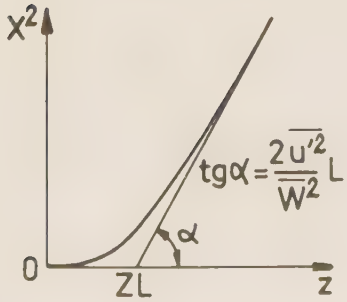
$$x(z) = 2.ZL\left[\frac{1}{z} + \frac{ZL}{z^2}\left(e^{-\frac{z}{ZL}} - 1\right)\right]$$

à l'étude de la loi de la variance

$$X^2_o = \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2} z^2 x(z)$$

se substitue l'étude de la fonction

$$\sqrt{\frac{X^2_o(z)}{x(z)}} = \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\overline{W}} z$$

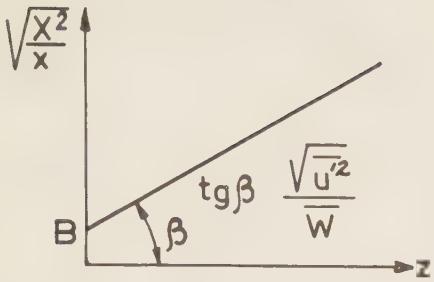


La méthode d'analyse numérique adoptée consiste à évaluer ZL à l'aide des variances déterminées loin de la source :

$$X^2_o \xrightarrow[z \to \infty]{} Cz + D\left(e^{-\frac{z}{ZL}} < 0{,}01 \text{ pour } z > 4{,}6ZL\right)$$

- et $ZL = -\frac{D}{C}$

Puis définir la correction sur les variances X^2



$$\sqrt{\frac{X_o^2(z)}{x(z)}} = A\,z + B$$

alors

$$\left(\sqrt{\frac{X_o^2}{x}}\right) = \sqrt{\frac{X^2}{x}} - B$$

Par itérations successives, il suffit de calculer les nouvelles valeurs de ZL et des nouvelles corrections à apporter jusqu'à ce que les corrections deviennent négligeables.

Les valeurs ainsi obtenues pour X_o^2 sont présentées dans les tableaux N° 53 à 57 et par les courbes des figures 21 à 24.

6.2.2 - Etude de la variance en coordonnées réduites

Dans la plage de nos essais nous avons supposé que les échanges thermiques, normalement à la paroi, étaient nuls en moyenne. Nous nous sommes donc limité à une étude bidimensionnelle de la diffusion de la chaleur à partir d'une source linéaire.

En fait, nous avons montré au chapitre IV (4.2) que l'énergie transportée par une couche fluide d'épaisseur Δ y subit une variation maximum de 5 % après un parcours de 200 mm. Nous avons également signalé une anomalie dans le transfert d'énergie d'une couche à une autre couche voisine.

La puissance linéique dissipée par le fil chauffant est maximum en son milieu (y = Y). Il est donc naturel de prévoir que des échanges se produiront des couches les plus chaudes vers les plus froides. Ce qui est le cas dans la région du canal où α_1 est pratiquement nul (XF = 248 mm). A XF = 407 mm le phénomène de transfert est contraire aux prévisions. Ce transport d'énergie, s'effectuant de la paroi vers le centre du canal, tend à montrer l'existence de courants secondaires très intenses dans cette région.

Il est donc nécessaire de vérifier si, au delà d'un parcours de 200 mm, l'étude de la diffusion dans un plan à $y = C^{te}$ est justifiable.

Pour ce faire, nous avons pratiqué les corrections sur les variances décrites précédemment en ne traitant que les points expérimentaux tels que ZF < 200 mm.

A l'aide de ces seuls points, nous avons donc défini $\sqrt{\overline{u'^2}}$ la fluctuation de vitesse en valeur quadratique moyenne.

$$\sqrt{\overline{u'^2}} = A.\,\overline{W}$$

La longueur lagrangienne de la turbulence a été déterminée par la tangeante à la courbe $X_o^2 = f(z)$ lorsque $z \to \infty$ $L = \frac{C}{2A^2}$.

Puis nous avons calculé les grandeurs sans dimension.

$$Z_+ = \frac{z}{L} \quad \text{et} \quad X_+^2 = \frac{1}{2}\,\frac{\overline{W}^2}{\overline{u'^2}}\,\frac{X_o^2}{L^2}$$

qui figurent dans les tableaux N° 53 à 57.

Les valeurs des fluctuations de vitesse et des échelles lagrangiennes ainsi calculées sont reportées dans le tableau n° 3.

La loi de la variance

$$X_o^2 = 2 \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2} L \left[z + L \left(e^{-\frac{z}{L}} - 1\right) \right]$$

s'écrit en coordonnées réduites

$$\frac{1}{2} \frac{\overline{W}^2}{\overline{u'}^2} \frac{X_o^2}{L^2} = \frac{z}{L} + e^{-\frac{z}{L}} - 1$$

ou

$$X_+^2 = Z_+ + e^{-Z_+} - 1$$

Figure 25, nous avons reporté les valeurs expérimentales de X_+^2 en fonction de Z_+. Pour la majorité des sillages, ces points vérifient parfaitement la loi universelle. Seuls les sillages qui se développent près de la paroi à XF = 407 mm n'obéissent pas à cette loi. En conséquence, dans cette région du canal à $y < 0,1$ Y, la diffusion dans un plan parallèle aux parois n'obéit plus aux lois établies en supposant que les échanges thermiques normalement aux parois étaient négligeables.

6.3 - Echelles lagrangiennes

6.3.1 - L'échelle lagrangienne intégrale des longueurs de la turbulence est définie à l'aide du coefficient de corrélation lagrangien

$$R_L(z) = \frac{\overline{u'(z_o + z)\, u'(z_o)}}{\overline{u'^2}}$$

alors $L = \int_o^\infty R_L(z)\, dz$

Expérimentalement elle est calculée à l'aide des courbes

$$\sqrt{\frac{\overline{X_o^2}}{\chi}} = Az + B$$

et $\quad X_{oz \to \infty}^2 \to Cz + D$

où $\quad A = \sqrt{\frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2}} \quad B \simeq o \quad C = 2 \frac{\overline{u'^2}}{\overline{W}^2} L$ et $D = - \frac{2\overline{u'^2}}{\overline{W}^2} L.\ ZL$

ainsi $\quad L = \frac{C}{2A^2}$ et $ZL \equiv L = - \frac{C}{D}$ (tableaux n° 53 à 57)

Pour comparer nos résultats à ceux obtenus par JULLIEN [4) qui étudie la conductibilité turbulente parallèlement aux isovitesses dans un écoulement plan, nous représentons figure 26 la variation de $\frac{Lf}{Y}$ en fonction de $\frac{y}{Y}$, du nombre de Reynolds et de l'abs-

cisse XF ($\alpha_1 = o$ et $\alpha_1 \neq o$).

Influence du nombre de Reynolds

Dans la région du canal où la diffusion est étudiée parallèlement aux isovitesses ($\alpha_1 \sim o$), les courbes représentatives de $\frac{Lf}{Y} = f\left(\frac{y}{Y}\right)$ sont sensiblement parallèles.

Ainsi $\left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e1}} - \left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e2}} \simeq 0{,}0058$ pour $0{,}5 < \frac{y}{Y} < 1$

avec $R_{e1} = 180\,000$ et $R_{e2} = 810\,000$

De même dans la région à fort gradient de vitesse transversal, nous observons $\left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e1}} > \left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e2}}$ mais ici, l'action de α_1 et des courants secondaires est telle que

$$\left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e1}} - \left(\frac{Lf}{Y}\right)_{R_{e2}} = f\left(\frac{y}{Y}\right)$$

6.3.2 - Localement, la turbulence peut également être caractérisée par une échelle des longueurs en variables de Lagrange ou longueur de corrélation.

Ainsi pour $z < \Omega_L$ le coefficient de corrélation $R_L(z)$ est voisin de l'unité.

En fonction de l'échelle lagrangienne intégrale,

$$\Omega_L = \sqrt{\overline{u'^2}}\ \mathcal{T}_L = \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\overline{W}}\ L$$

soit $\Omega_L = \frac{C}{2A} = L.A$

L et A étant connus expérimentalement, nous calculons (tableau n° 3) Ω_L et $\frac{\Omega L}{Y}$.

- Diffusion parallèlement aux isovitesses ($\alpha_1 \sim o$), XF = 248 mm. La majorité des points s'alignent sur une courbe $\frac{\Omega L}{Y} = f\left(\frac{y}{Y}\right)$. Cette fonction est indépendante du nombre de Reynolds de l'écoulement :

$\frac{y}{Y} = 0{,}1 \quad 0{,}2 \quad 0{,}6 \quad 1$

$\frac{\Omega L}{Y} \simeq 0{,}148 \quad 0{,}153 \quad 0{,}191 \quad 0{,}224$

- Diffusion dans la région où le gradient de vitesse transversal est fonction de la distance à la paroi et du nombre de Reynolds, XF = 407 mm.

Les longueurs de corrélation sont supérieures aux précédentes et elles sont ici fonction du régime d'écoulement.

$\frac{y}{Y} = 0{,}1 \quad 0{,}2 \quad 0{,}6 \quad 1$

$R_e = 180\,000\ \frac{\Omega L}{L} \simeq 0{,}170 \quad 0{,}166 \quad 0{,}203 \quad 0{,}223$

$R_e = 810\,000\ \frac{\Omega L}{L} \simeq 0{,}188 \quad 0{,}189 \quad 0{,}215 \quad 0{,}248$

TABLEAU N° 3

PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE DE LA DIFFUSION TURBULENTE

Re	XF (mm)	2Y (mm)	YS (mm)	A	C (mm)	L (mm)	$\frac{L\ \Omega\ 100}{4Y}$	$\sqrt{\overline{u'^2}}$ (m/s)	$\frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\overline{W}}L$ (mm)	$\frac{\Omega L}{Y}$	$\sqrt{\overline{u'^2}}^{+}$	λ' (W/m/°K)	$\frac{\lambda'}{\lambda}$
180 000	248	50,32	25,60	0,0280	0,316	201,5	2,86	0,604	5,63	0,224	0,646	4,00	155
			15,60	0,0335	0,323	144	2,76	0,688	4,82	0,192	0,737	3,90	151
			5,60	0,0429	0,332	90	1,73	0,766	3,85	0,152	0,820	3,48	135
			2,60	0,0457	0,338	81	155	0,732	3,70	0,148	0,784	3,18	123
	407	50,40	25,60	0,0355	0,400	158	3,03	0,796	5,60	0,222	0,844	5,26	204
			15,60	0,0385	0,404	136	2,61	0,832	5,22	0,208	0,881	5,12	198,5
			5,60	0,0488	0,409	86	1,64	0,889	4,19	0,166	0,942	4,37	169
			2,60	0,0487	0,423	89	1,71	0,789	4,33	0,172	0,834	4,02	156
810 000	248	48,95	24,70	0,0246	0,296	246	3,26	2,654	6,05	0,247	0,622	16,6	635
			14,70	0,0314	0,298	151	2,01	3,250	4,75	0,194	0,760	16,0	612
			4,70	0,0403	0,303	93	1,24	3,658	3,75	0,153	0,856	14,3	546
			1,70	0,0435	0,314	83	1,10	3,493	3,61	0,147	0,818	13,1	500
	407	48,85	24,70	0,0298	0,361	203	2,70	3,316	6,06	0,248	0,771	20,7	788
			14,70	0,0355	0,374	148	1,97	3,809	5,25	0,215	0,886	20,7	787
			4,70	0,0408	0,376	113	1,50	3,887	4,61	0,189	0,905	18,5	704
			1,70	0,0410	0,377	112	1,49	3,483	4,59	0,188	0,812	16,6	630

6.4 - Conductibilité thermique turbulente

La loi de la variance due à la turbulence, que nous avons établie pour un écoulement non perturbé, permet de définir un concept simple de conductibilité thermique turbulente.

$$\lambda' = \rho \, Cp \, \frac{\overline{W}}{2} \, \frac{\partial X_o^2}{\partial z}$$

Les figures 21 à 24 nous montrent que, loin de la source, X_o^2 varie linéairement avec z.

$$X_o^2 \xrightarrow[z \to \infty]{} Cz + D \quad \text{avec} \quad C = \frac{\partial X_o^2}{\partial z}$$

Les valeurs numériques de $C\lambda'$, $\frac{\lambda'}{\lambda}$ sont présentées dans le tableau n° 3 et n° 51 à 55 $\frac{\lambda'}{\lambda}$ est fonction de la distance à la paroi $\frac{y}{Y}$ et du nombre de Reynolds (figures 27 et 28).

Dans la zone parabolique des vitesses nous pouvons écrire que

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{\lambda'}{\mu' Cp} \, \frac{\mu'}{\mu} \, \frac{\mu \, Cp}{\lambda} = \frac{\mu'}{\mu} \, \frac{P_r}{P'_r}$$

μ' et λ' intéréssant les transferts de moment et de chaleur dans un plan parallèle aux parois du canal ($\mu' = \mu'_{xz}$).

Or nous avons vu que $\mu'_{xz} \, \frac{1}{k} = \mu'_{yz} = \mu \left[\frac{Y_+}{2\alpha} - 1 \right]$

Donc $\quad \frac{\mu'}{\mu} = k \left[\frac{Y_+}{2\alpha} - 1 \right] \sim k \, \frac{Y_+}{2\alpha}$

or $\quad Y_+ = \frac{Y W_*}{\nu}$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{k}{8\alpha} \, \frac{4.YW}{\nu} \, \frac{W_*}{W} \, \frac{P_r}{P'_r}$$

soit $\quad \frac{\lambda'}{\lambda} = K \, R_{ei} \, P_r \sqrt{\frac{f}{2}} \quad \text{avec} \quad K = \frac{k}{8\alpha P'_r}$

En utilisant les valeurs locales des tableaux 2 et 3 nous avons calculé K

R_e	XF	P_r	$\frac{4Y.W}{\nu}$	4f	$\frac{\lambda'}{\lambda}$	K
180 000	248	0,708	120 600	0,0195	155	$3,69.10^{-2}$
	407	0,708	130 000	0,0194	204	$4,49.10^{-2}$
810 000	248	0,704	530 000	0,0157	635	$3,85.10^{-2}$
	407	0,704	540 000	0,0150	788	$4,79.10^{-2}$

Ces valeurs de K peuvent être comparées à celles obtenues par JULLIEN [4] qui trouve :

$$0{,}029 < K < 0{,}034 \text{ pour } 80\,000 < R_e < 700\,000$$

Rapprochons nos résultats de la loi proposée par GELIN [28]

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = k'\ 0{,}035\ R_{ei}\ P_r\ \sqrt{\frac{f}{2}}$$

avec $1 < k' < 3$ suivant le plan de diffusion étudié. Nous constatons que nos valeurs expérimentales obtenues, pour la diffusion parallèlement aux isovitesses ($\alpha_1 \sim o$), correspondent au coefficient k' 0,035 avec $k' \sim 1{,}06$. Dans la région à fort gradient de vitesse transversal, $k' \sim 1{,}3$.

L'étude de la diffusion normalement aux isovitesses, qui sera présentée dans le paragraphe suivant, nous permettra de calculer la limite supérieure du coefficient k' en un point particulier du canal où les gradients de vitesse $\frac{\partial \overline{W}}{\partial y} \sim o$ $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \sim o$.

Notons enfin que le coefficient de conductibilité turbulente peut être considéré comme constant à $\frac{2}{100}$ près dans une partie centrale du canal de largeur égale à 0,8 Y.

7 - ANISOTROPIE DES TRANSFERTS THERMIQUES AU CENTRE DU CANAL

7.1 - Définition des mesures effectuées - courbes de diffusion

L'étude du sillage qui se développe derrière un fil métallique chauffant tendu normalement aux parois, nous a permis de définir un coefficient de conductibilité thermique λ'. Il rend compte de la diffusion des particules parallèlement au plan x o z. Notons le λ'_{xz} et définissons un coefficient λ'_{yz} tel que dans l'équation (6) nous puissions écrire la relation :

$$- \rho\ Cp\ \overline{v'\theta'} = \lambda'_{yz} \frac{\partial \overline{T}}{\partial y}$$

Le coefficient fictif λ'_{yz} sera défini à partir de l'étude de la diffusion dans un plan normal aux parois du canal.

Nous tendons un fil horizontal en travers de l'écoulement sans modifier la nature de la turbulence.

Pour faire cette étude, nous avons choisi une région du canal où les gradients de vitesse $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x}$ étaient pratiquement nuls (x =247 mm).

Les résultats, relatifs à la diffusion parallèlement aux isovitesses dans la partie centrale du canal ont déjà été présentés dans le paragraphe précédent.

Les températures sont relevées perpendiculairement aux isovitesses dans des plans situés aux distances 20, 40, 60, 80, 100, 140 et 180 mm de la source.

- $R_e = 180\,000$

Dans la partie centrale du canal plan $\frac{\partial \overline{W}}{\partial x}$ et $\frac{\partial \overline{W}}{\partial y}$ sont pratiquement nuls. La distribution des températures, relevées perpendiculairement aux isovitesses, nous donne des points se répartissant sur des courbes en cloche (tableaux Nos 50 et 51). Aux erreurs expérimentales près, ces courbes de température sont systématiques et possèdent un axe commun

à tous les relevés. Le sillage turbulent est donc centré.

Près de la paroi du canal, le fil étant placé en travers de l'écoulement à la cote YF = 5,6 mm, si les points expérimentaux peuvent s'ajuster avec une bonne approximation à des courbes de Gauss, leur centre n'est plus commun. A mesure que le sillage se développe, derrière le fil métallique chauffant, l'influence de la paroi se fait sentir. L'effet du pompage calorique de ce plan métallique masque celui du gradient de vitesse $\frac{\partial \overline{W}}{\partial y}$ qui évolue très rapidement dans cette zone logarithmique.

- R_e = 810 000

A ce régime nous avons étudié le sillage qui se développait derrière le fil métallique tendu au centre du canal. Comme précédemment les courbes de température sont symétriques et restent centrées sur un axe commun.

Pour toutes nos mesures (tableau n° 52), les points expérimentaux s'ajustent parfaitement à la loi normale d'équation

$$\Delta \overline{T} = \Delta \overline{T}_{max} \; e^{-\frac{y'^2}{2\,\overline{y'^2}}}$$

avec $y = YF + y'$

La variance de la loi d'éparpillement des particules correspond donc à la variance $\overline{y'^2}$ de la loi gaussienne .

7.2 - Paramètres de la turbulence

Les figures 29.1-2 et 3 représentant la distribution des variances $\overline{x'^2}$ et $\overline{y'^2}$ obtenues parallèlement et perpendiculairement aux isovitesses.

Les paramètres de la turbulence sont alors calculés comme lors de l'étude de la diffusion parallèlement aux isovitesses.

PRINCIPAUX RESULTATS DE LA DIFFUSION NORMALEMENT AUX ISOVITESSES

Tableau 4

R_e	YF (mm)	ZF (mm) / variances	20	40	60	80	100	140	180
180 000	25,6	$\overline{y'^2}$ (mm^2)	0,736	1,882	3,15	5,14	7,76	13,43	20,30
		$\overline{Y_o^2}$ (mm^2)	0,19	0,85	2,01	3,65	5,82	10,93	17,38
180 000	5,6	$\overline{y'^2}$	1,226	3,22	5,53	9,23	11,95	19,60	28,01
		$\overline{Y_o^2}$	0,17	0,45	1,72	3,99	6,70	13,41	20,62
810 000	24,7	$\overline{y'^2}$	0,65	1,43	2,56	3,90	5,63	9,61	14,15
		$\overline{Y_o^2}$	0,14	0,61	1,35	2,32	3,81	7,36	11,67

Tableau 5

R_e	XS (mm)	YF (mm)	L (mm)	$\frac{\sqrt{\overline{v'^2}}}{\overline{W}}$	λ'_{xz} (MKSA)	λ'_{yz} (MKSA)	$\lambda'_{xz}/\lambda'_{yz}$
180 000	248	25,6	197,2	$2,65.10^{-2}$	3,999	3,51	1,14
180 000	248	5,6	129,5	$2,82.10^{-2}$	3,483	2,16	1,61
810 000	248	24,7	234	$2,21.10^{-2}$	16,648	12,94	1,29

Nous obtenons ainsi le rapport d'anisotropie entre les coefficients de conductibilité turbulente propre à un écoulement plan entre deux plaques distantes de 50 mm. λ'_{xz} ayant été défini précédemment, nous pouvons constater que $\frac{\lambda'xz}{\lambda'yz}$, au centre du canal, est de 1,14 à R_e = 180 000. Ce rapport augmente légèrement (1,29) lorsque l'on passe au régime d'écoulement supérieur (R_e = 810 000). Si son augmentation est asymptomatique lorsque $y \to o$, nous constatons que dans la majeure partie du canal il reste inférieur à 2.
A R_e = 180 000, cette valeur n'est atteinte que dans la zone logarithmique des vitesse puisque $\frac{\lambda'_{xz}}{\lambda'_{yz}}$ = 1,61 à YF = 5,6 mm.

VI - CONCLUSIONS

Les résultats, obtenus à l'aide des mesures de diffusion des particules marquées par chauffage, nous ont permis de vérifier que les lois de la turbulence établies à partir du modèle de TAYLOR sont parfaitement vérifiées.

Les gradients de vitesse, en valeur relative, définis par $\alpha_1 = \frac{\partial \overline{W}}{\partial x} \frac{2Y}{\overline{W}}$, sont insuffisants pour créer une dissymétrie notable des profils de température. Les échelles lagrangiennes et les intensités de la turbulence suffisent à définir la diffusion thermique pour tous nos essais.

L'évolution des sillages qui se développent derrière le fil métallique nous montre que l'écoulement étudié n'est pas rigoureusement unidirectionnel. Dans la partie centrale du canal plan, c'est-à-dire dans la région où les isovitesses sont parallèles aux parois, les courbes de température se déplacent vers le canal secondaire à mesure que la longueur de diffusion augmente. Ici, ce phénomène semble indépendant de la distance à la paroi et du nombre de Reynolds.

Dans la région à fort gradient de vitesse transversal, ce "pompage" subsiste mais ses effets sont diminués au centre du canal alors qu'ils sont accentués près des parois. Il nous a été possible de justifier, en partie, ces observations à l'aide des mesures de l'évolution du profil des vitesses le long de l'écoulement. Mais une interprétation plus complète peut être donnée si l'on admet, dans cette zone, l'existence de courants secondaires très importants près des parois $\left(\frac{\overline{u'}}{\overline{W}}\right)_{\frac{y}{Y}=0,1} \simeq \frac{0,7}{100}$ et $\left(\frac{u'}{\overline{W}}\right)_{\frac{y}{Y}=1} \simeq -\frac{1}{1\,000}$ varient très peu avec R_e .

Ces travaux permettent de préciser que les résultats relatifs à la diffusivité turbulente, acquis pour un écoulement entre deux plaques parallèles infinies, sont applicables avec une bonne approximation aux géométries rencontrées dans les échangeurs à ailettes parallèles. Ils montrent également dans quelle mesure les courants secondaires peuvent favoriser le transfert de la chaleur issue des parois en bout d'ailette.

Dans la partie central du canal plan, l'étude de la diffusion parallèlement et perpendiculairement aux isovitesses nous a permis d'étudier l'anisotropie des transferts thermiques. Il est important de remarquer que le rapport entre les coefficients de conductibilité thermiques est de l'ordre de 1,3 à $R_e = 810\,000$

$$\frac{\lambda'_{xz}}{\lambda'_{yz}} = 1,3$$

contre 1,14 à $R_e = 180\,000$, ce rapport d'anisotropie ne devenant notable que dans la zone logarithmique des vitesses.

ANNEXE 1

SOLUTION DE L'EQUATION DE L'ENERGIE

Nous avons vu que si la diffusion moléculaire était négligeable devant la diffusion turbulente, l'équation de l'énergie se mettait sous la forme

$$\overline{W} \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u' \theta'}$$

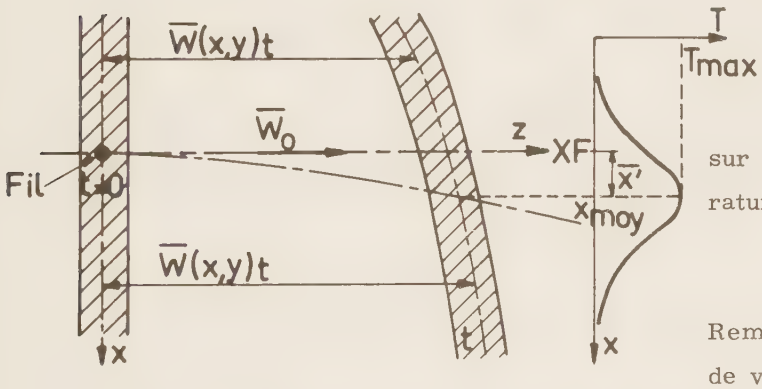
où $\overline{W}$ est la composante moyenne, selon la direction oz, du vecteur vitesse $\vec{U}$ (u', v', $\overline{W}$ + w').

La température instantanée en un point du fluide $T = \overline{T} + \theta'$. est mesurée par rapport à sa température initiale (sans chauffage).

Pour tous nos essais nous pouvons admettre, en première approximation, que la loi des températures obéit à l'équation

$$\overline{T} = \overline{T}_{max} e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}}$$

où $\overline{T}_{max}$ est fonction de z et



$$\begin{cases} \xi = x - X_{moy} \\ x = XF + x' \end{cases}$$

sur toute l'étendue des mesures de température nous avons :

$$\overline{W} \simeq \overline{W}_o (1 + a\, x')$$

Remarquons d'autre part que le gradient de vitesse transversal étant faible ($\alpha_1 < 0,15$) la correction de position $\overline{W}\, t - \overline{W}_o\, t$ est elle-même très faible.

Donc $\overline{W}.t$ sera considéré comme constant à 5 % près. 5 % étant une valeur extrême, aucune correction n'est faite.

$$\overline{T} = \overline{T}_{max} e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}}$$

avec $\xi = x' - \overline{x'} = x - X_{mcy}$

et $$\frac{\partial \overline{T}}{\partial z} = \left[\frac{\partial \overline{T}_{max}}{\partial z} + \overline{T}_{max} \frac{\xi^2}{\overline{x'^2}\sqrt{\overline{x'^2}}} \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} \right] e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}}$$

Hypothèse : le flux thermique est conservatif sur une tranche fluide d'épaisseur Δy.

$$Q = \Delta y \int_{-\infty}^{\infty} \rho \, \overline{W} \, Cp \, \overline{T} \, dx$$

$$Q = \Delta y \, \rho \, Cp \, \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} \int_{-\infty}^{\infty} (1 + a \, x') \, e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} dx$$

$$Q = \Delta y \, \rho \, Cp \, \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} \int_{-\infty}^{\infty} (1 + \overline{ax'} + a \, \xi) \, e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} d\xi$$

Soit :

$$Q = \Delta y \, \rho \, Cp \, \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} (1 + a \, \overline{x'}) \sqrt{2 \pi \, \overline{x'^2}}$$

si le flux thermique est conservatif $\frac{\partial Q}{\partial z} = o$

et $$\frac{\partial \overline{T}_{max}}{\partial z} = - \overline{T}_{max} \left(\frac{1}{\sqrt{\overline{x'^2}}} \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} + \frac{a}{1 + \overline{ax'}} \frac{\partial \overline{x'}}{\partial z} \right)$$

Revenons à l'équation différentielle de l'énergie

$$\overline{W} \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u' \theta'}$$

$$\overline{u' \theta'} = - \int_o^x \overline{W}_o (1 + ax') \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} dx$$

$$\overline{u'\theta'} = \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} \int_o^x (1 + ax') \left[\frac{1}{\sqrt{\overline{x'^2}}} \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} \left(1 - \frac{\xi^2}{\overline{x'^2}}\right) + \frac{a}{1 + \overline{ax'}} \frac{\partial \overline{x'}}{\partial z} \right] e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} dx$$

Expérimentalement, nous constatons que $\frac{\partial \overline{x'}}{\partial z}$ tend vers une constante lorsque le temps de diffusion augmente (à la précision des mesures près). D'une manière générale posons $\frac{a}{1 + a \overline{x'}} \frac{\partial \overline{x'}}{\partial z} = K(z)$

$$\overline{u'\theta'} = \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\overline{x'^2}}} \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} \left[(1 + a \overline{x'}) \int_o^x \left(1 - \frac{\xi^2}{\overline{x'^2}}\right) e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} d\xi + \right.\right.$$

$$\left.\left. + a \int_o^x \xi \left(1 - \frac{\xi^2}{\overline{x'^2}}\right) e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} d\xi \right] + K(z) \int_o^x (1 + a \overline{x'}) + a \, \xi \Big] e^{-\frac{\xi^2}{2 \overline{x'^2}}} d\xi \right\}$$

Pour tous les essais effectués, au cours de ces présents travaux,

$$\frac{1}{\sqrt{\overline{x'^2}}} \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} \gg K(z) \quad \text{lorsque } z \text{ est supérieur à } 2L.$$

Ainsi le premier terme est toujours supérieur à $1,2 \, m^{-1}$ alors que $K(z)$ reste inférieur à $0,03 m^{-1}$ pour des temps de diffusion suffisamment longs.

Alors en se limitant aux termes de plus haut rang

$$\overline{u'\theta'} \simeq \overline{W}_o \, \overline{T}_{max} \, \frac{1}{\sqrt{\overline{x'^2}}} \, \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z} \left[(1 + a\overline{x'})\,\xi + a\,\xi^2 + a\,\overline{x'^2} \right] e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}} + \epsilon(\xi)$$

Rappelons que cette relation approchée a été obtenue en supposant que

$\overline{T} = \overline{T}_{max} \, e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}}$ (conformèment aux observations expérimentales).

Soit $$\frac{\partial \overline{T}}{\partial \xi} = - \frac{\overline{T}_{max}}{\overline{x'^2}} \, \xi \, e^{-\frac{\xi^2}{2\overline{x'^2}}}$$ (relation approchée)

or $$\frac{\partial \overline{x'^2}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\sqrt{\overline{x'^2}}^{\,2} \right) = 2 \sqrt{\overline{x'^2}} \, \frac{\partial \sqrt{\overline{x'^2}}}{\partial z}$$

Alors, en première approximation nous pourrons écrire

$$\overline{u'\theta'} \simeq - \frac{W_o}{2} (1 + a\,x') \, \frac{\partial \overline{x'^2}}{\partial z} \, \frac{\partial T}{\partial x}$$

ANNEXE 2

CARACTERE ALEATOIRE DES FLUCTUATIONS DE TEMPERATURE ET EVOLUTION DE LA TEMPERATURE D'ENTREE

Au chapitre III nous avons évalué la précision des mesures de température. Elle est fonction des fluctuations, propres aux régimes turbulents, et des variations de la température ambiante.

Nous avons relevé les variations de la résistance R_{th} de la thermistance placée à 175 mm du fil chauffant dans un écoulement d'air à $R_e = 180\,000$.

Pendant la durée de cet essai (environ un quart d'heure) la résistance varie de 2360 ohms à 2300 Ω. Elle mesure la température, du fluide non chauffé et évolue avec l'arrivée de courants d'air frais.

$$R_{th} = \alpha\, e^{\beta/T}$$

Le fil métallique dissipe une puissance constante au cours du chauffage et la thermistance voit sa résistance chuter de ΔR_{th}.

Nous avons enregistré les valeurs suivantes :

ΔR_{rh} (Ω)	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
fréquence	1	2	3	3	5	6	5	4	3	4	2	2

La moyenne de cet échantillon est de 76,6 Ω.

Sa variance est égale à 8,1 Ω^2.

Notons que ces relevés ont été effectués alors que les conditions ambiantes étaient fortement perturbées. Ceci explique un écart type aussi important :

$$\sigma = 2{,}86\ \Omega$$

ANNEXE III

CALCUL D'ERREUR SUR LES VARIANCES

Les courbes de répartition des températures moyennes sont d'allure gaussienne. Les variances de ces lois expérimentales sont donc égales à celles des lois normales du type :

$$\frac{\Delta \overline{T}_i}{\Delta \overline{T}_{max}} = e^{-\frac{x'^2_i}{2\overline{x'^2}}} \quad \text{avec } x'_i = x_i - x_{moy}$$

Soit

$$\text{Log} \frac{\Delta \overline{T}_i}{\Delta \overline{T}_{max}} = - \frac{1}{2\overline{x'^2}} \; x'^2_i$$

En posant $x'^2_i = X_i$, $\text{Log} \frac{\Delta \overline{T}_i}{\Delta \overline{T}_{max}} = Y_i$ et $- \frac{1}{2\overline{x'^2}} = A$

l'étude de la loi $Y_i = A X_i$ impose, pour calculer A, l'emploi de la méthode des moindres carrés appliquée aux N relevés.

$$A = \left[\sum_i X_i Y_i - \frac{1}{N} \sum_i X_i \sum_i Y_i \right] \Bigg/ \left[\sum_i X_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_i X_i\right)^2 \right] = \frac{D1}{D2}$$

Lors du calcul de la variance, nous avons évalué l'erreur maximale que nous commettions. Cette derière est due aux incertitudes d'origine expérimentales d'une part et à l'erreur systématique que nous introduisons en appliquant la relation

$$A = \frac{D_1}{D_2}$$

Soit $\frac{\delta \overline{x'^2}}{\overline{x'^2}} = \left(\frac{\delta A}{A}\right)_{systématique} + \left(\frac{\delta A}{A}\right)_{expérimentale}$

Si nous admettons que ces incertitudes δx_i , δx_{moy}, $\frac{\delta \Delta \overline{T}_i}{\Delta \overline{T}_i}$ et $\frac{\delta \Delta \overline{T}_{max}}{\delta \overline{T}_{max}}$

sont des constantes (pour 1 courbe expérimentale) alors

$$\left(\frac{\delta A}{A}\right)_{syst} \leq (\delta x_i + \delta x_{moy}) \sum_{i=1}^{N} \left[\left(\frac{2}{D_1} Y_i \sqrt{X_i} + \left(\frac{4 \sum_i X_i}{N D_2} - \frac{2 \sum_i Y_i}{N D_1}\right)\sqrt{X_i} - \frac{4}{D_2} X_i^{3/2} \right] \right.$$

Pour tous nos relevés nous avions $\delta x_i \leq 0{,}01$ mm

$0{,}02 \leq \delta x_{max} \leq 0{,}1$ mm

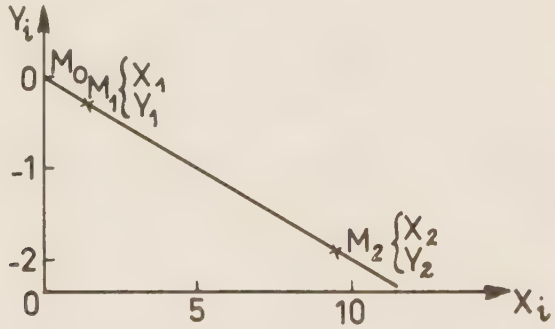
$$\frac{\delta \Delta \overline{T}_i}{\Delta \overline{T}_i} \leq 0{,}005$$

$$\frac{\delta \Delta \overline{T}_{max}}{\Delta \overline{T}_{max}} \leq 0{,}01$$

Les résultats numériques que nous obtenons montrent que

$$\left(\frac{\delta A}{A}\right)_{syst.} \leq \frac{1}{100}$$

A cette erreur systématique s'en ajoute une directement liée à l'imprécision des mesures. Elle peut être évaluée simplement si nous supposons que les N points de la courbe ont un poids identique dans la détermination de δA.



Ainsi pour 2 points de la courbe M_1 et M_2

$$A = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \quad \text{et} \quad \left(\frac{\delta A}{A}\right)_{exp.} \leq \frac{\delta Y_1 + \delta Y_2}{|Y_1 - Y_2|} + \frac{\delta X_1 + \delta X_2}{|X_1 - X_2|}$$

Or
$$\begin{cases} \delta Y_i = \dfrac{\delta(\Delta \overline{T}_i)}{\Delta \overline{T}_i} + \dfrac{\delta(\Delta \overline{T}_{max})}{\Delta \overline{T}_{max}} \\ \delta X_i = 2(x_i - x_{moy})(\delta x_i + \delta x_{moy}) \end{cases}$$

En supposant qu'il est possible de définir $\frac{N}{2}$ couples de points tels que M_1, M_2 et en faisant tendre M_1 vers M_o nous obtenons la relation approchée :

$$\left(\frac{\delta A}{A}\right)_{exp} \leq \frac{2}{N} \left| \frac{2}{\left|\mathrm{Log}\,\frac{\Delta \overline{T}^{2}}{\Delta \overline{T}_{max}}\right|} \left(\frac{\delta \Delta \overline{T}_{i}}{\Delta \overline{T}_{i}} + \frac{\delta \Delta \overline{T}_{max}}{\Delta \overline{T}_{max}} \right) + \frac{2}{|x_2 - x_{moy}|} (\delta x_i + \delta x_{moy}) \right|$$

Le choix du point M_2 reste arbitraire. Pour uniformiser nos résultats, nous avons retenu le point le plus éloigné de l'origine M_o (seul l'ordre de grandeur de l'incertitude présente un intérêt).

Ainsi nous obtenons pour les différentes courbes de température

$$\frac{1}{100} < \left(\frac{\delta A}{A}\right)_{exp} < \frac{2}{100}$$

Nous pouvons donc conclure que les variances sont déterminées avec une précision inférieure ou égale à $\frac{3}{100}$.

BIBLIOGRAPHIE

[1] FORTIER (A.)
Transferts thermiques dans les écoulements
Cours professé à l'Université de Paris VI, 1970.

[2] BATCHELOR (G.K.)
Turbulent diffusion.
In :
BATCHELOR (G.K.), DAIRES (R.M.) ed.
Surveys in Mechanics
London, The University Press, 1956.- pp. 352-399.

[3] TACCOEN (L.)
Contribution à l'étude de la diffusion turbulente de la chaleur dans un tube cylindrique circulaire lisse.
Thèse. Docteur Ingénieur.
Université de Paris, 1966.

[4] JULLIEN (F.)
Conductivité turbulente parallèlement aux isovitesses dans un écoulement plan en régime établi.
Thèse. Docteur Ingénieur.
Université de Paris, 1968.

[5] HINZE (J.O.) et VAN DER HEGGE ZIJNEN B.G.
Local transfer of heat in anisotropic turbulence
In :
General discussion on heat transfer
Institution of Mechanical Engineers, 11-13th September 1951.- pp. 188-191.

[6] TAYLOR (G.I.)
Statistical theory of turbulence,
Proceedings of the Royal Society of London, vol 151 A, n° 873, 1935, pp. 421-478.

[7] TOWNSEND (A.A.)
The diffusion behind a line source in homogeneous turbulence.
Proceedings of the Royal Society of London, vol 224 A, N° 1159, 1954, pp. 487-512

[8] UBEROI (M.S.) et CORSIN (S.)
Diffusion of heat from a line source in isotropic turbulence
Rapport américain NACA 1142, 1953.

[9] SKRAMSTAD-DRYDEN (H.L.)
Industrial and Engineering Chemistry, vol. 31, 1939, pp. 416-et suivantes

[10] LAUWERIER (H.A.)
Diffusion from a source in a skew velocity field.
Applied Scientific Research, vol 4 A, 1954, pp.153-156

[11] CRUM (G.F.) et HANRATTY (T.J.)
Dissipation of a sheet of heated air in a turbulent flow
Applied Scientific Research, vol. 15 A, n° 3, 1965, p.177 à 194

[12] FAYET (J.)
Etude expérimentale et analytique du frottement et de la transmission de la chaleur au sein d'écoulements turbulents.
Thèse. Doctorat en Sciences physiques, Université de Poitiers, 1970.

[13] COANTIC M.
Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement turbulent dans un tube circulaire.
Rapport français du Ministère de l'Air, PST-NT-113, 1962.

[14] LAWN. C.J.
The determination of the rate of dissipation in turbulent pipe flow.
Journal of Fluid Mechanics, vol. 48, part 3, 1971, pp.477-505.

[15] BARAT. M.
Contribution à la mesure des pressions en écoulement turbulent.
Thèse. Doctorat Université de Paris, 1966.

[16] DEISSLER R.G.
Analytical and experimental investigation of adrabatic turbulent flow in smooth tubes
Rapport américain NACA-IN-2138, 1950.

[17] MOREL
Etude expérimentale sur l'écoulement dans un canal de section rectangulaire allongée.
Communication privée, 1962.

[18] FORTIER (A.)
Ecoulement à la vitesse critique à travers les orifices ; applications industrielles.
Chaleur et Industrie, n° 299, 1950, pp.146-149.

[19] ROUSSELET (R.)
Ecoulement à la vitesse critique à travers les orifices ; applications industrielles.
Chaleur et Industrie, n° 295, 1950, pp.40-42.

[20] Relation entre le coefficient de Darcy, le nombre de Reynolds de l'écoulement et la rugosité relative. (Tables).
Communication privée.

[21] FORTIER (A.)
Propriétés des écoulements turbulents définis pour des conditions aux frontières stationnaires.
La Houille Blanche, vol 18, n° 31, 1963, pp.241-252.

[22] LAUFER (J.)
Investigation of turbulent flow in a two-dimensional channel.
Rapport américain NACA-1053, 1951.

[23] LAUFER (J.)
The structure of turbulence in fully developed pipe flow.
Rapport américain CANA-1174, 1954.

[24] COMTE-BELLOT (G.)
Ecoulement turbulent entre deux parois parallèles.
Thèse-Doctorat d'Université, Grenoble, 1965.

[25] LAWN (C.J.)
The determination of the rate of dissipation in turbulent pipe flow.
Journal of Fluid Mechanics, vol 48, part 3, 1971, pp. 477-505

[26] SCHLICHTING (H.)
Grenzschicht Theorie
Karlsruhe ; G. Braun, 1965, pp. 569-570

[27] PRANDTL (L.)
Führer durch die Stromungshehre
Braunschwerg, Vieweg und Sohn, 1965, pp. 207-212.

[28] GEFFROY (J.) et GELIN (P.)
Analogie entre le transfert de chaleur et le transfert de masse par sublimation d'un dépôt de naphtalène.
La Houille Blanche, vol n° 3, 1969, pp. 247-252.

[29] KJELLSTRÖM (B.)
Lateral heat transport for turbulent flow of a gas in a rod bundle.
AIEA, 14-17 Septembre 1970, Vienne, Autriche

[30] HINZE (J.O)
Turbulence : an introduction to its mechanism and theory
Toronto, London C, Mac Graw-Hill Book Company, 1959.

Manuscrit reçu le 1er février 1973

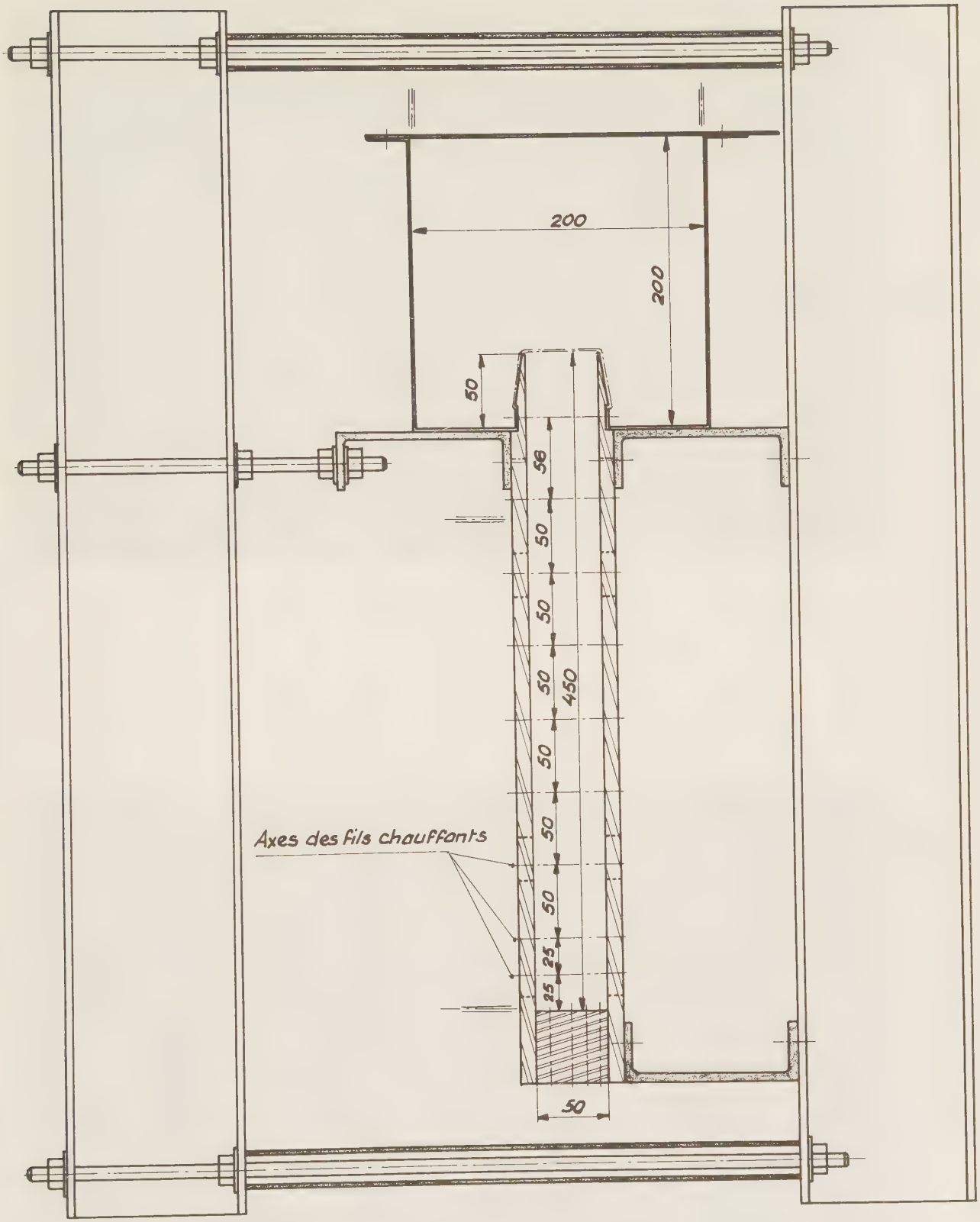


Figure 1

Section droite du canal - Echelle 3/10

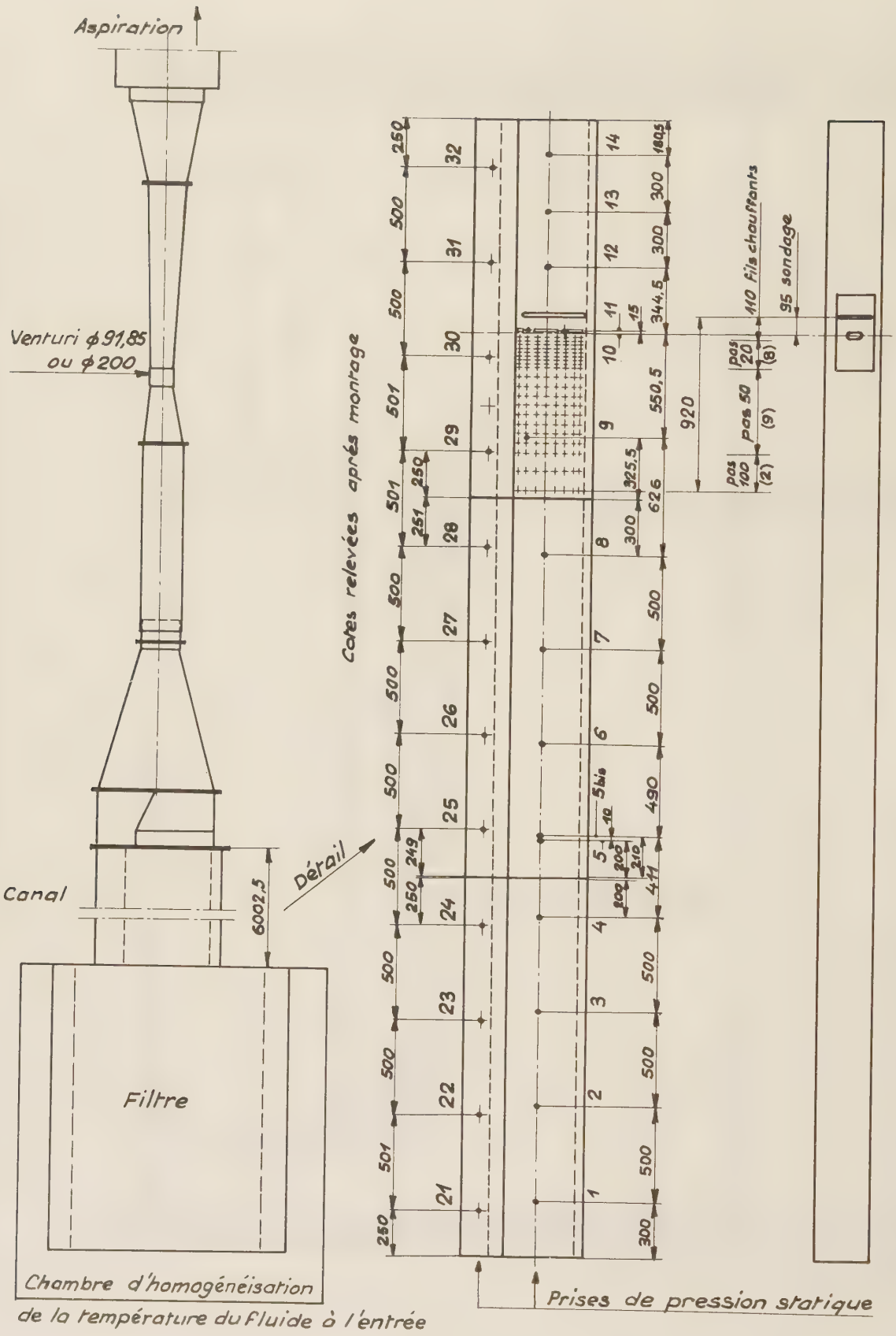


Figure 2

Ensemble du canal - Echelle : 1/25

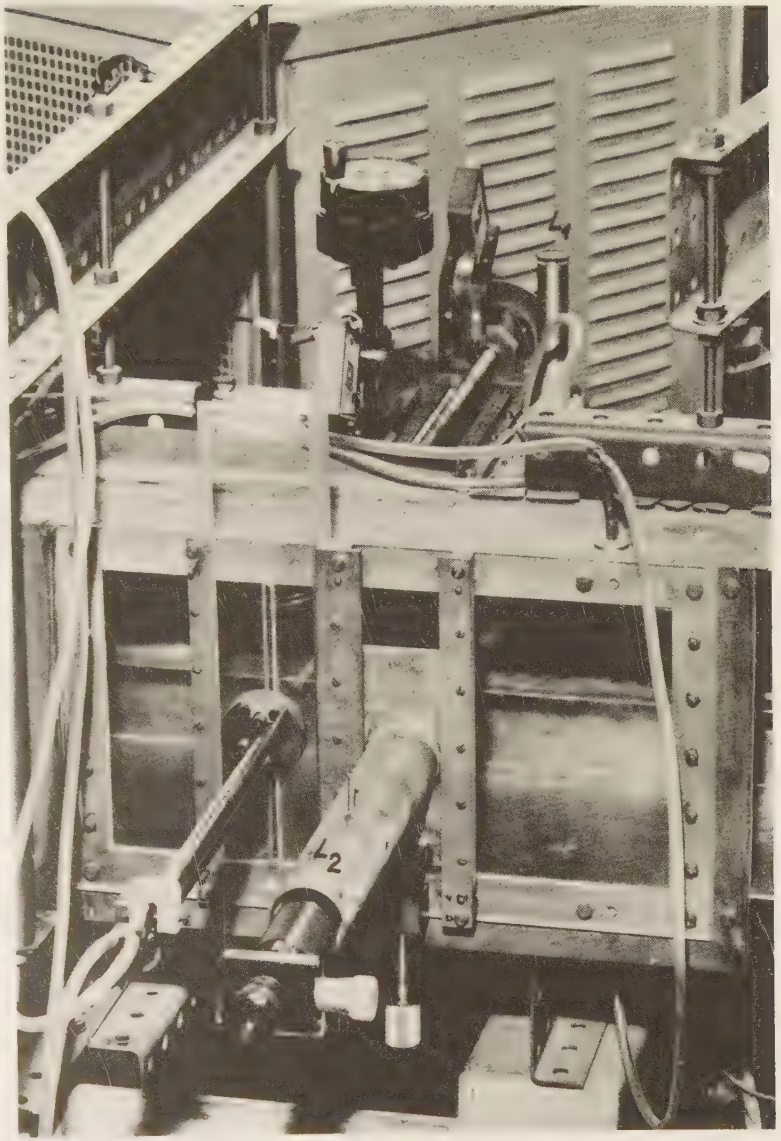


Figure 3

Lunettes de visée

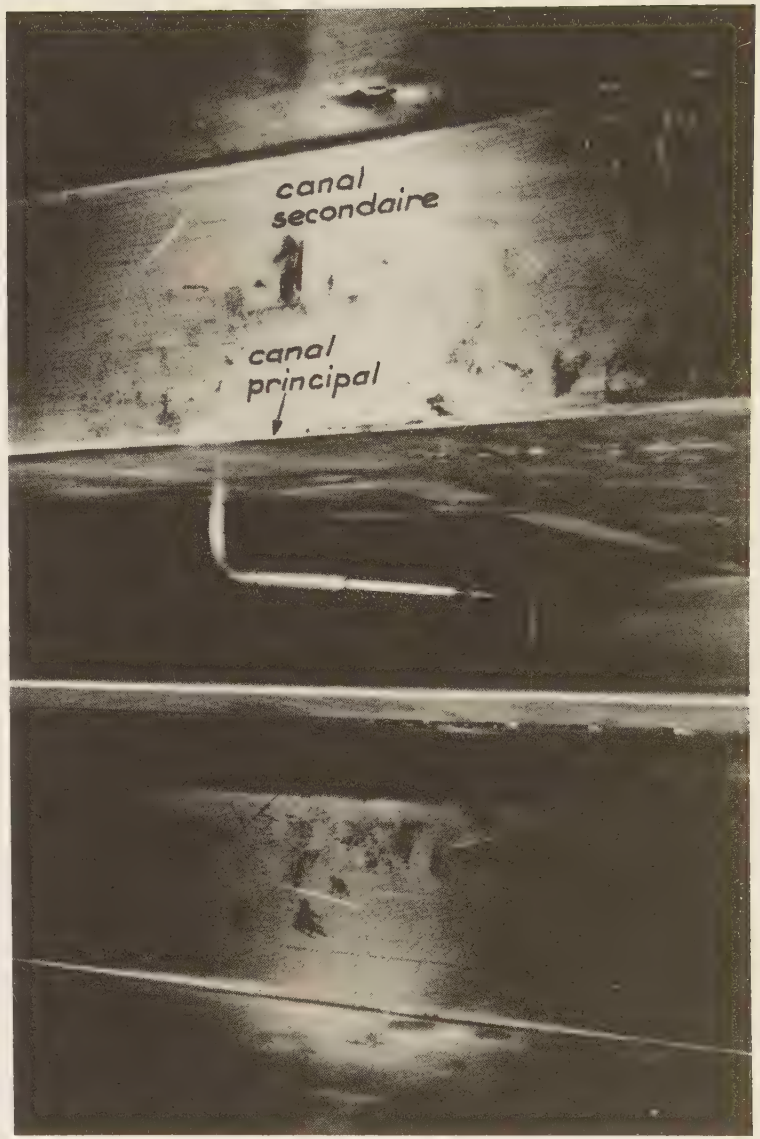


Figure 3bis

Fil et thermistance en position de travail

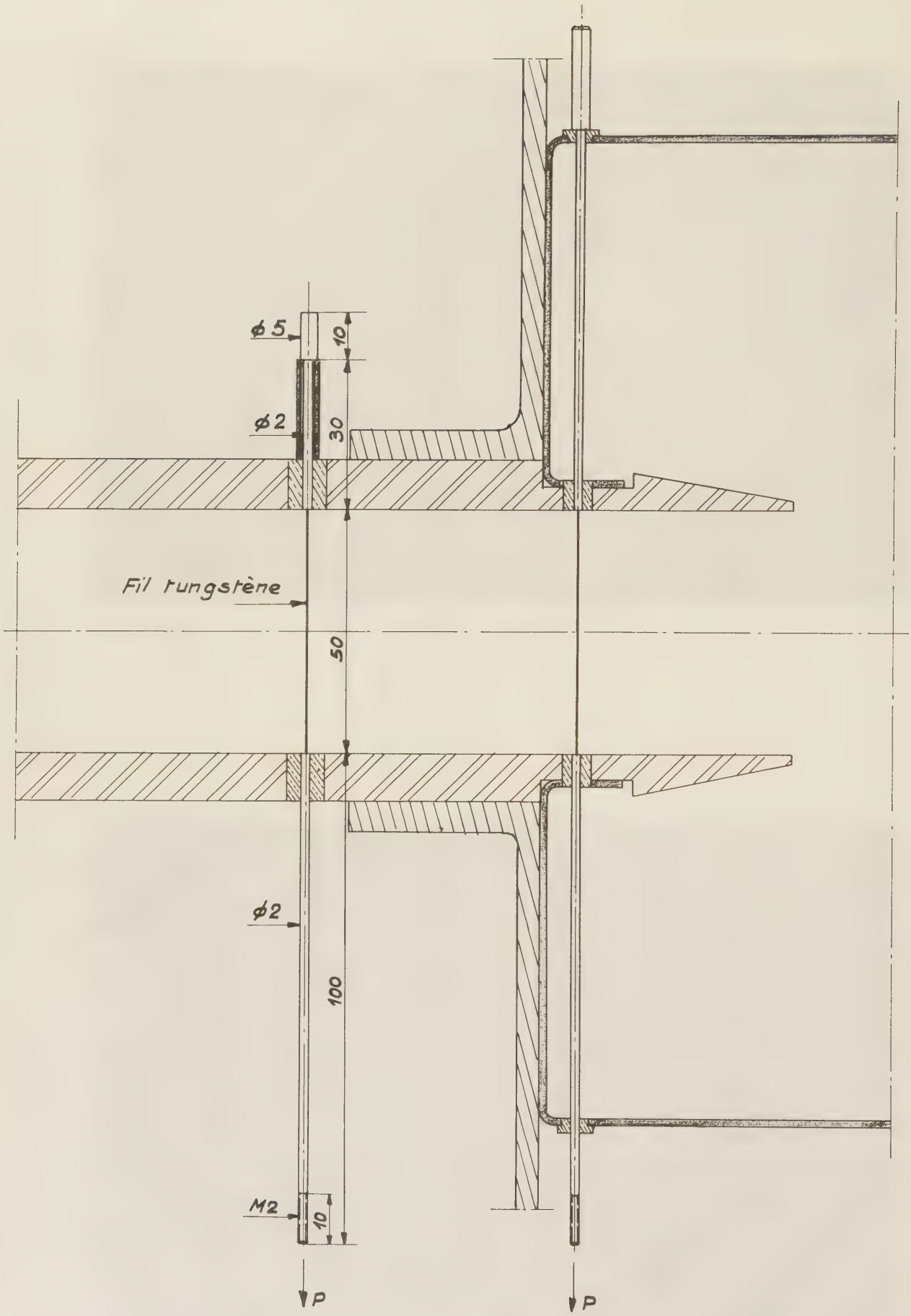


Figure 4

Montage des fils chauffants

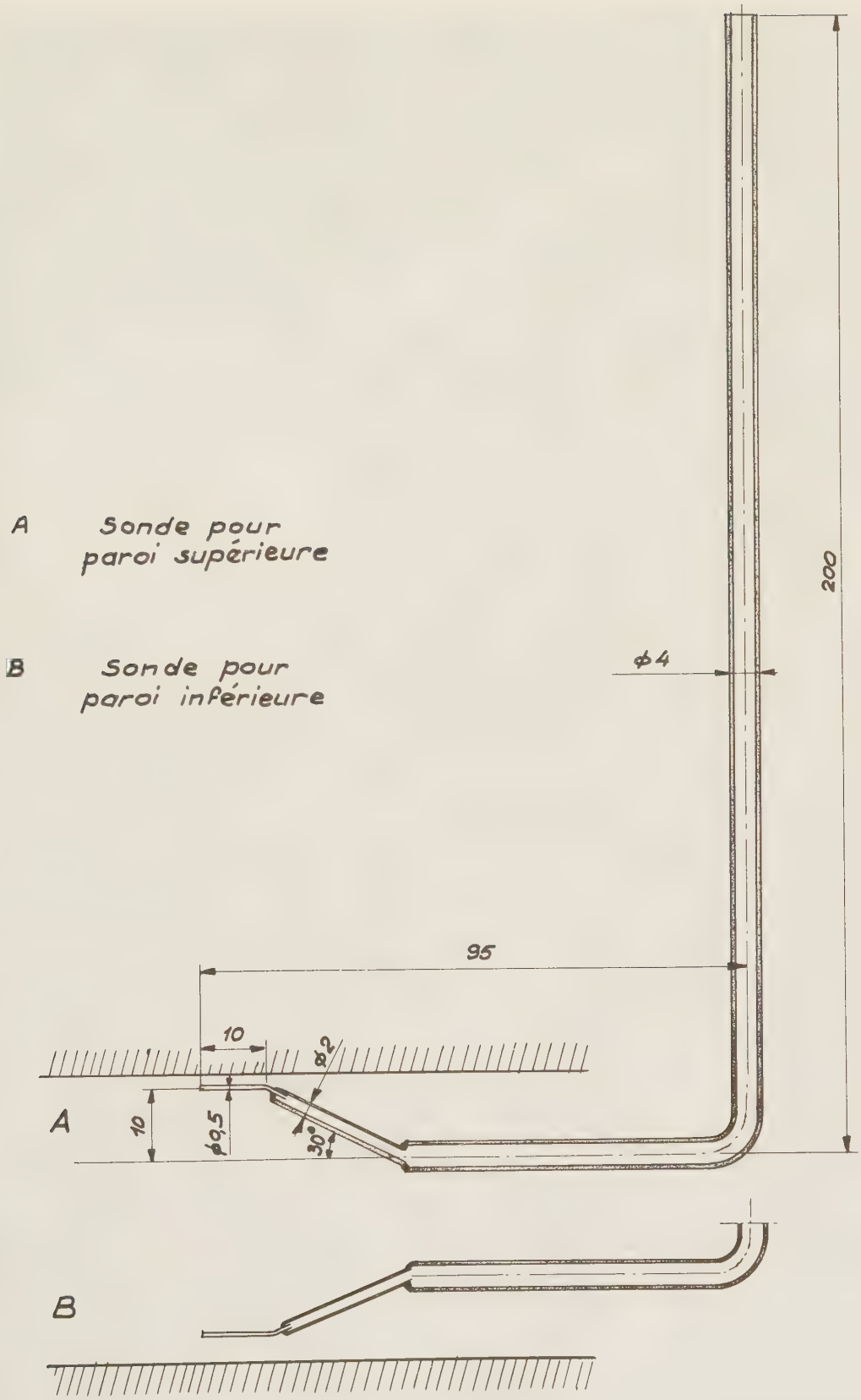


Figure 5

Sonde totale - hypodermique - à bords vifs

(Φ 0,3 int. - Φ 0,5 ext.)

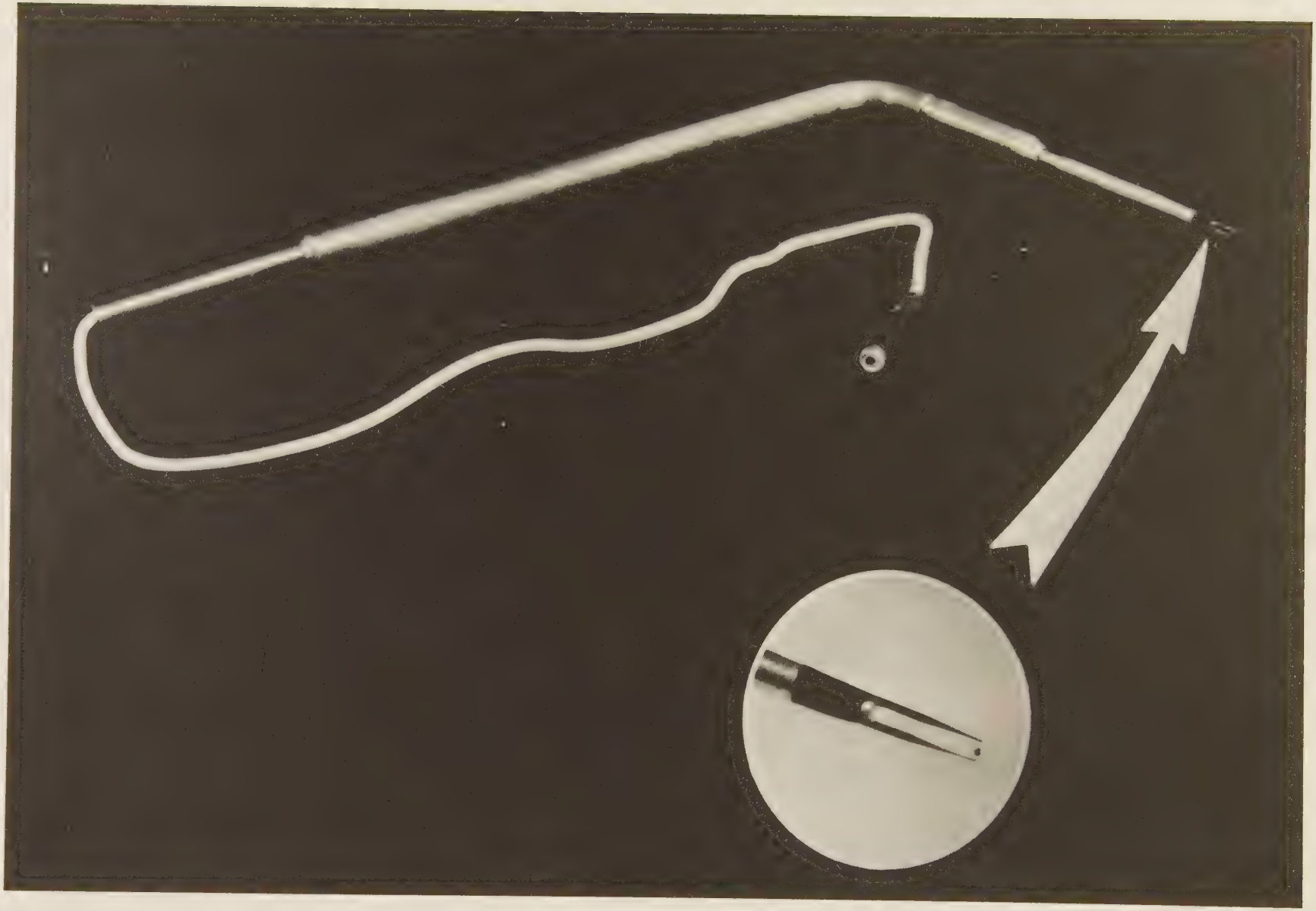


Figure 6 Sonde de température

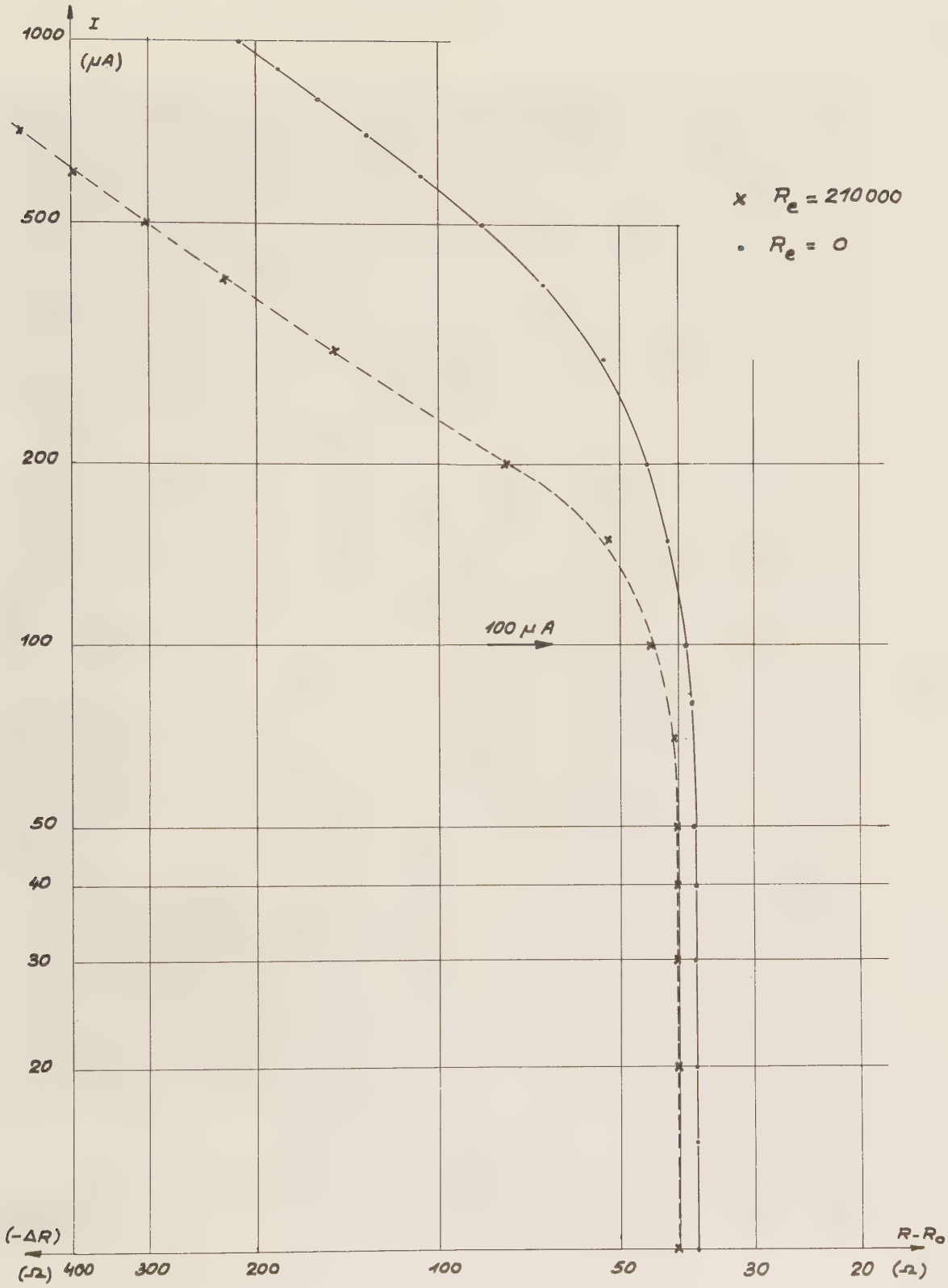


Figure 7

Echauffement de la thermistance

R = f (I)

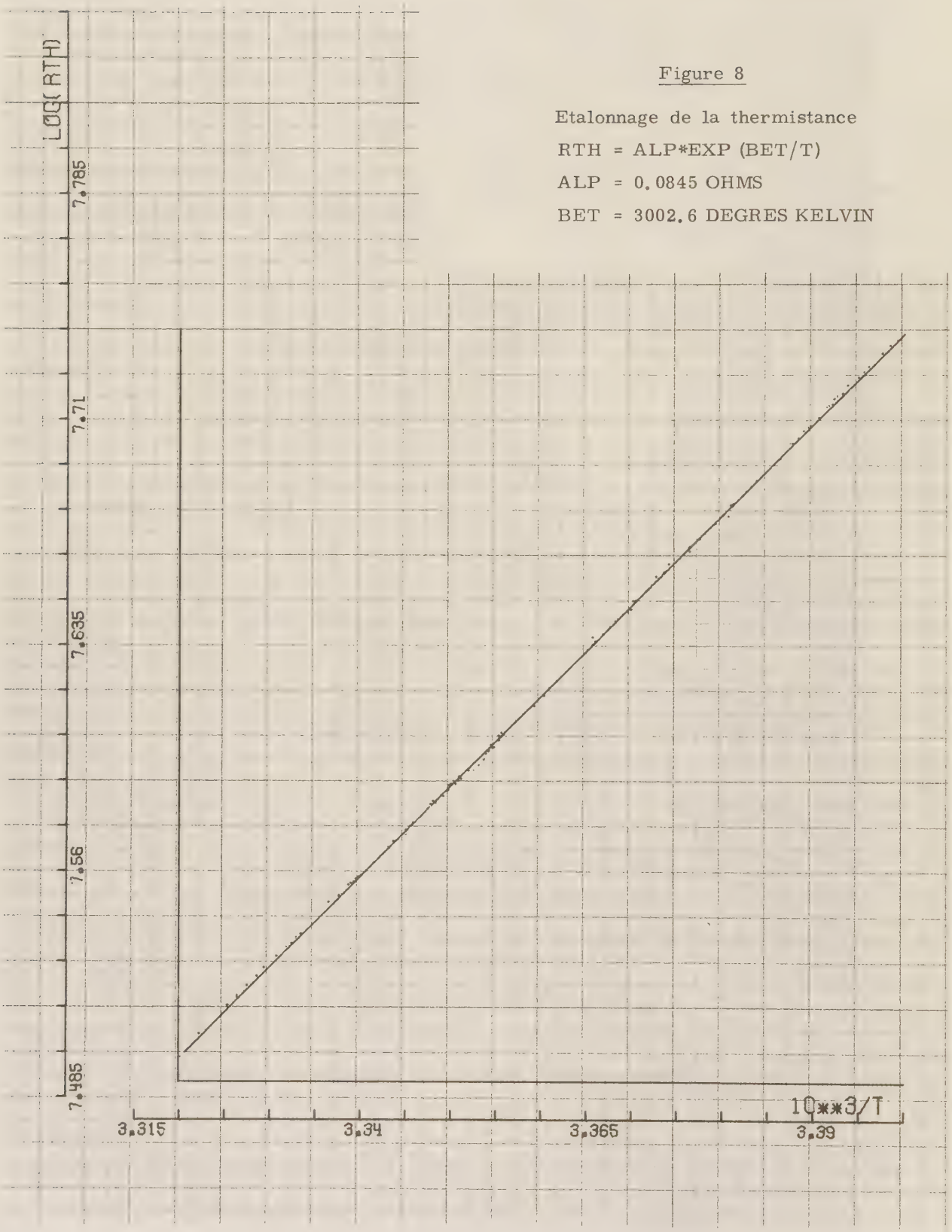


Figure 8

Etalonnage de la thermistance

RTH = ALP*EXP (BET/T)

ALP = 0.0845 OHMS

BET = 3002.6 DEGRES KELVIN

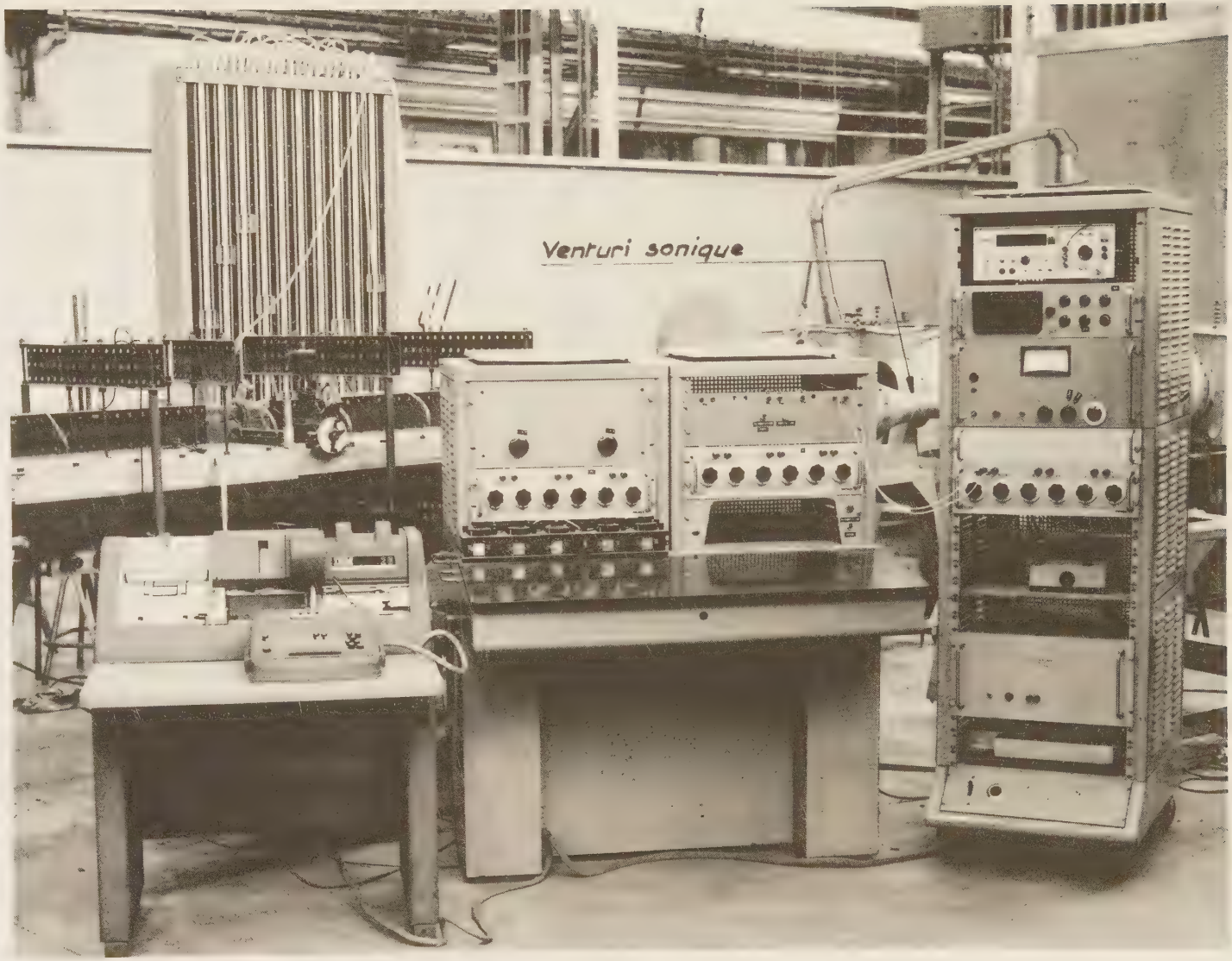


Figure 10

Vue générale des appareils de mesure

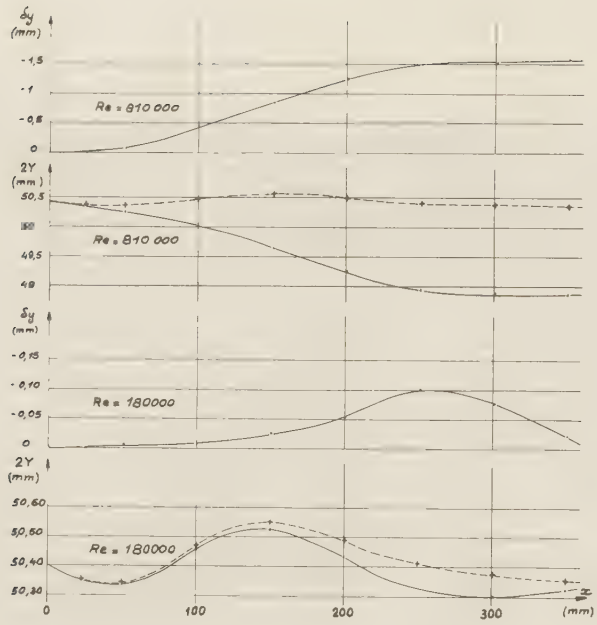


Figure 11

Déformée du canal δy .

Distance entre les parois 2Y
au repos +
en charge .

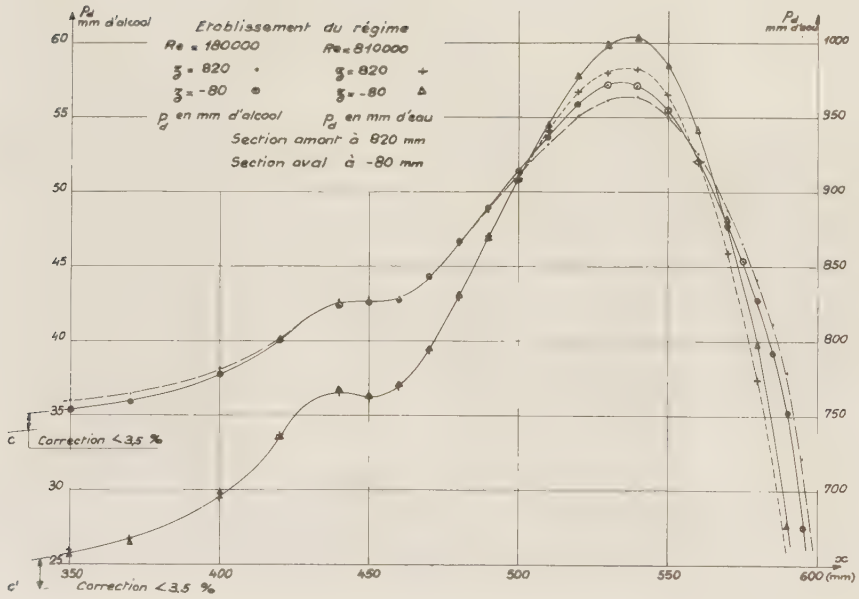


Figure 12

Courbes C et C' : mesures effectuées dans la section principale

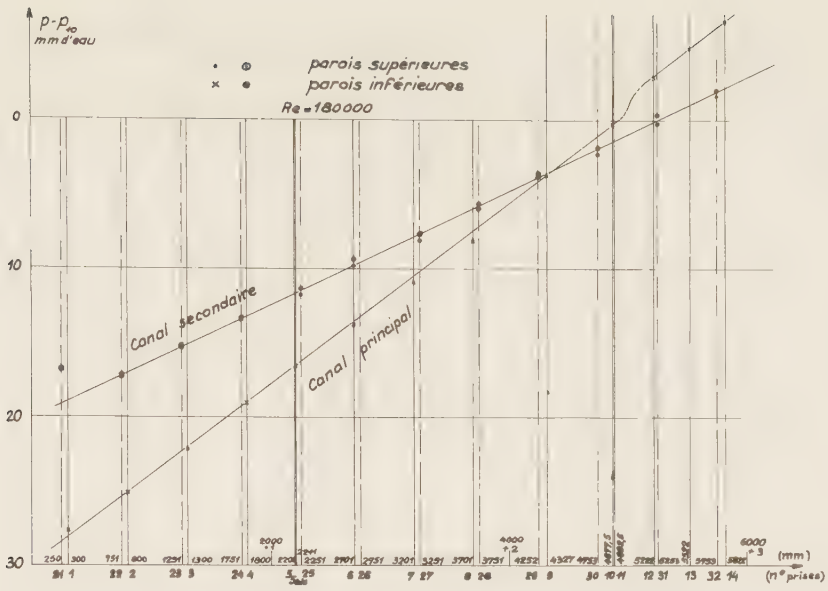


Figure 13

Dépression relevée par rapport à la prise n° 10
sous-canaux indépendants

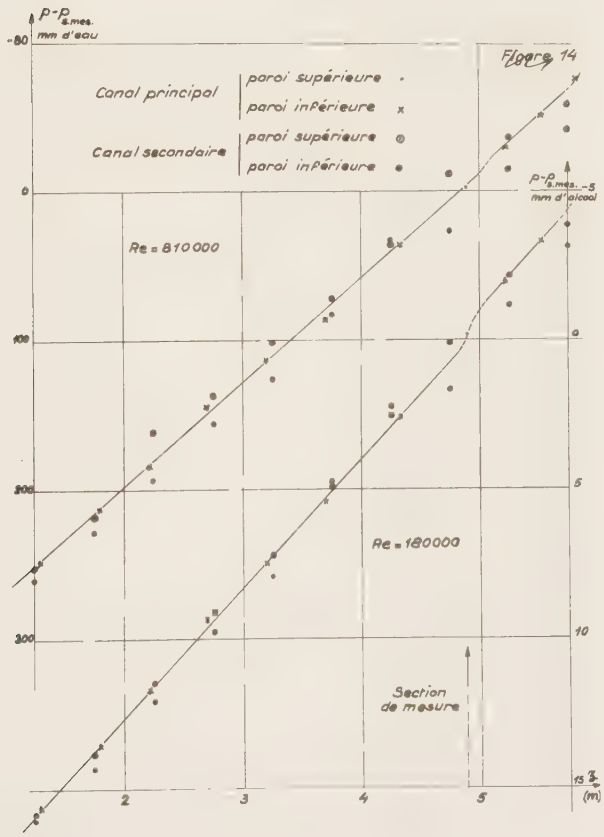


Figure 14

Dépression relevée par rapport à la section de mesure

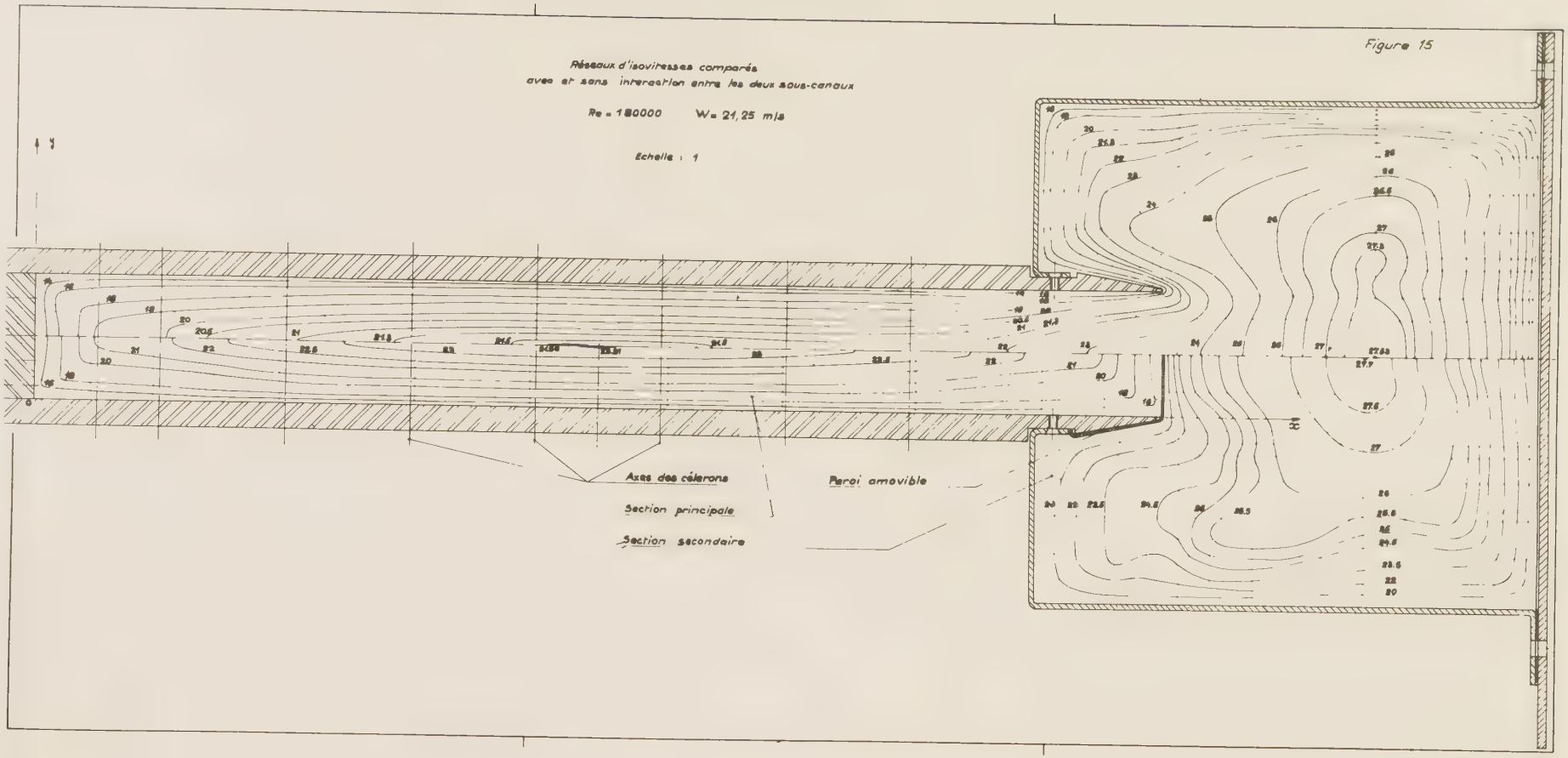


Figure 15

Réseaux d'isovitesses comparés
avec et sans interaction entre les deux sous-canaux

Re = 180 000 W = 21,25 m/s

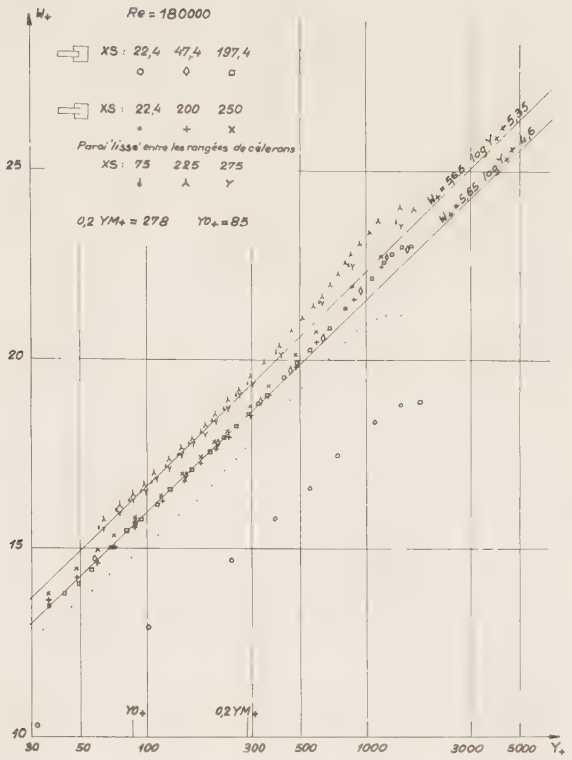


Figure 16

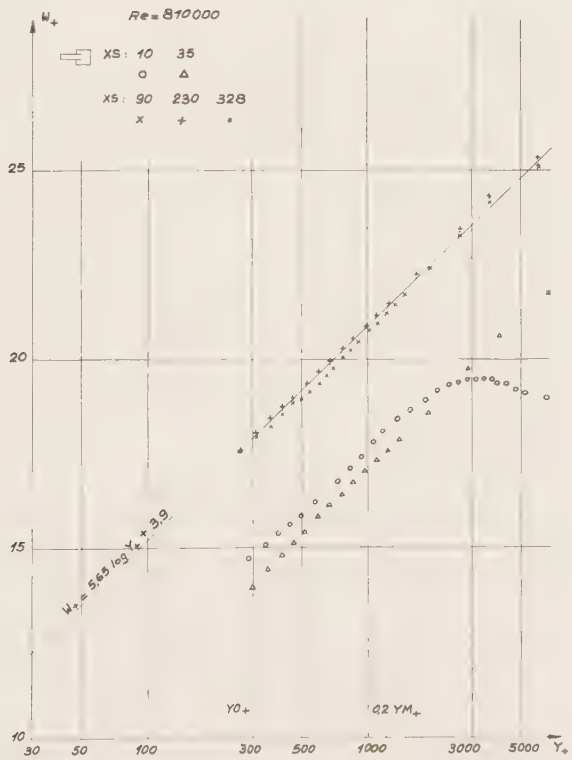


Figure 17

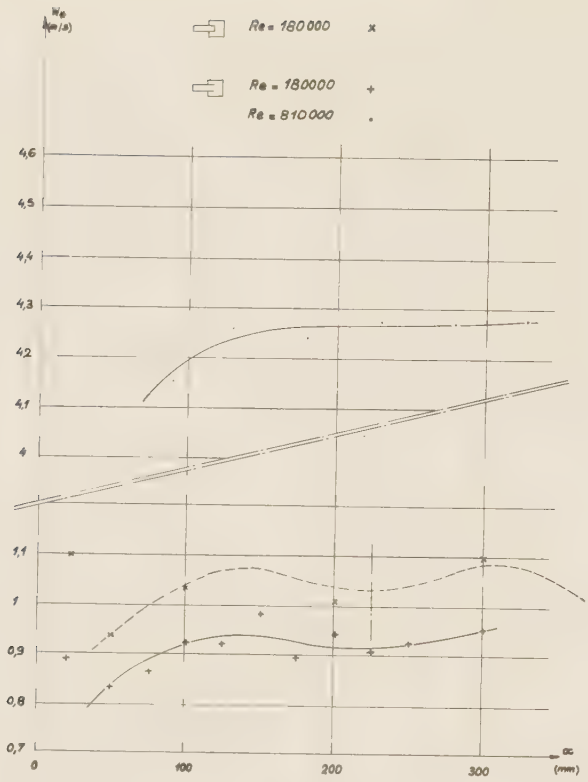


Figure 18

Evolution de la vitesse de frottement

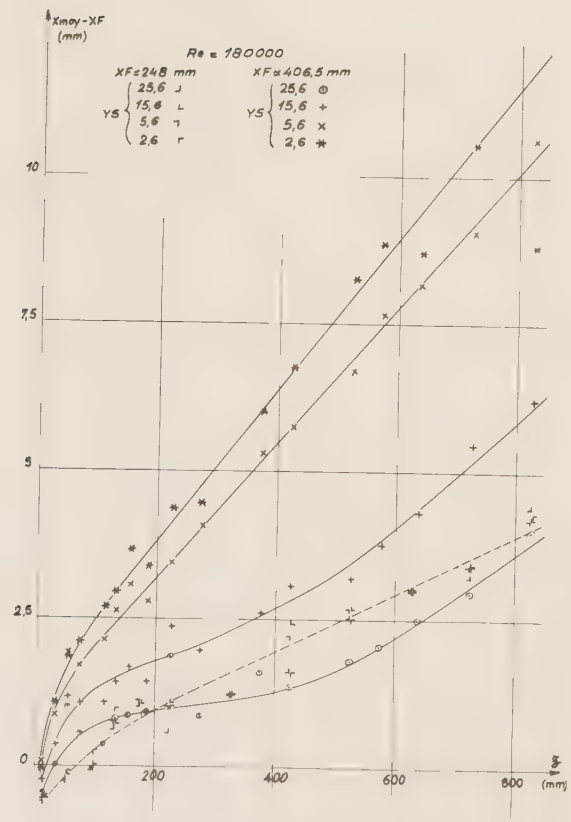


Figure 19

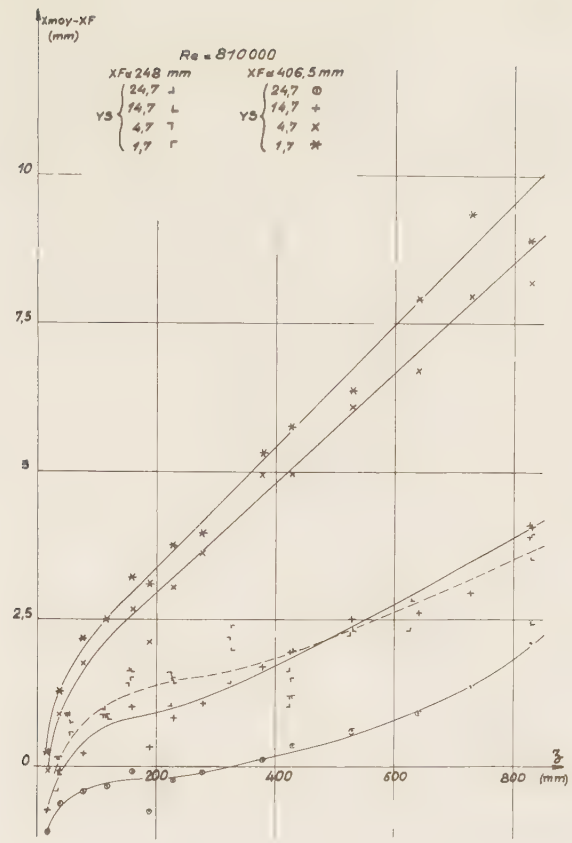


Figure 20

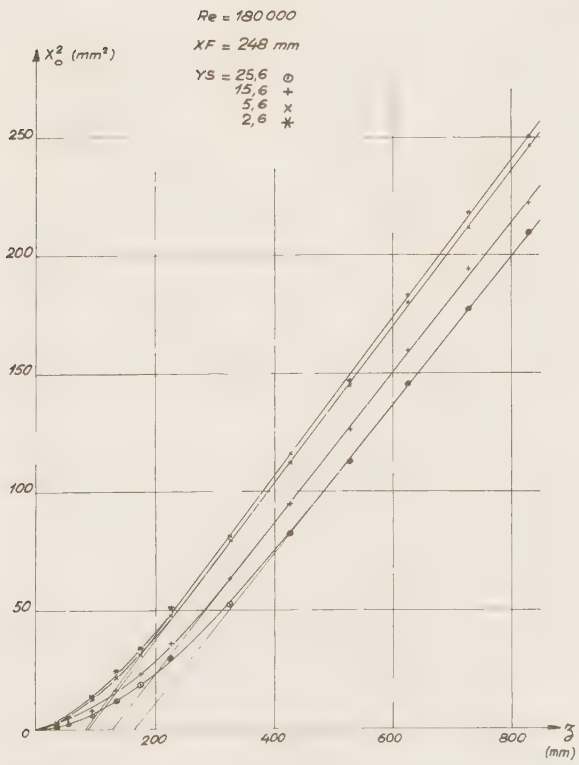


Figure 21

Loi de la variance corrigée

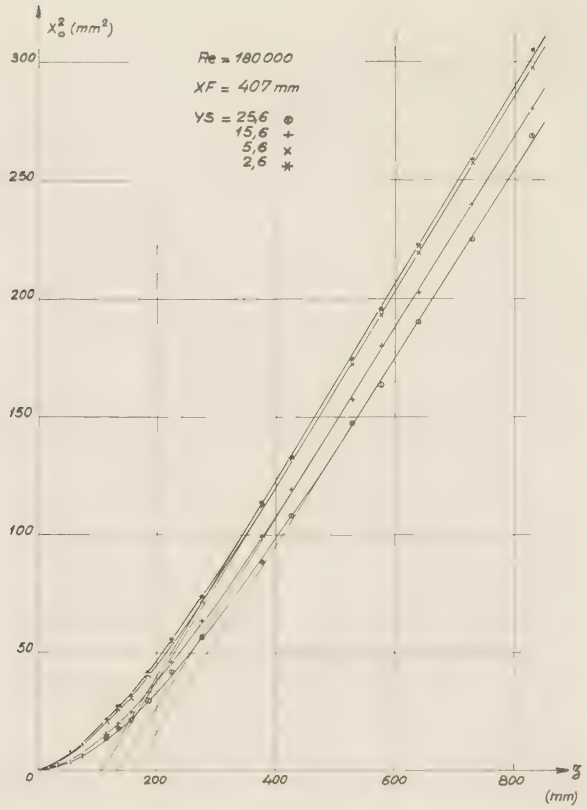


Figure 22 Loi de la variance corrigée

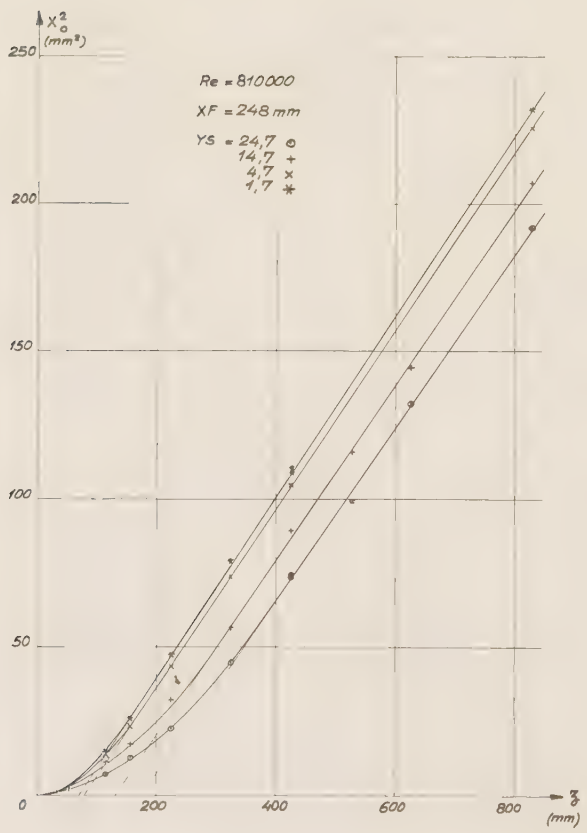


Figure 23 Loi de la variance corrigée

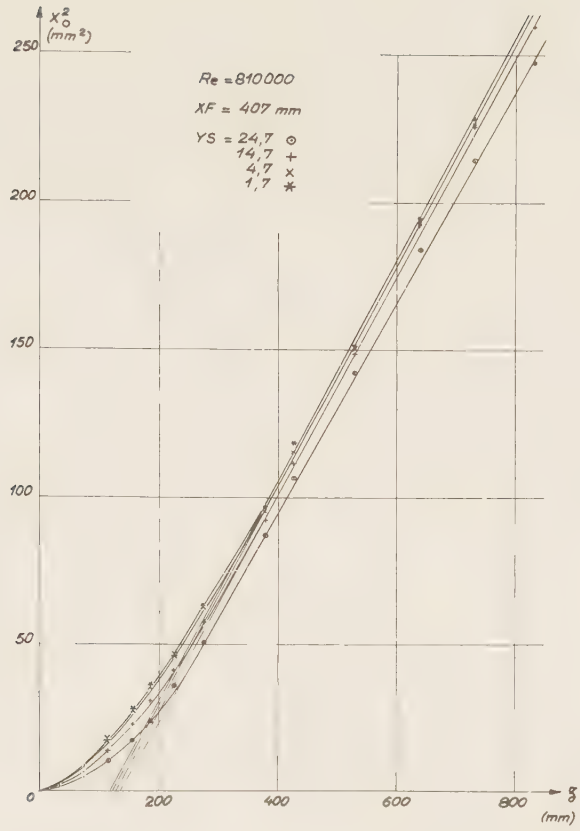


Figure 24 Loi de la variance corrigée

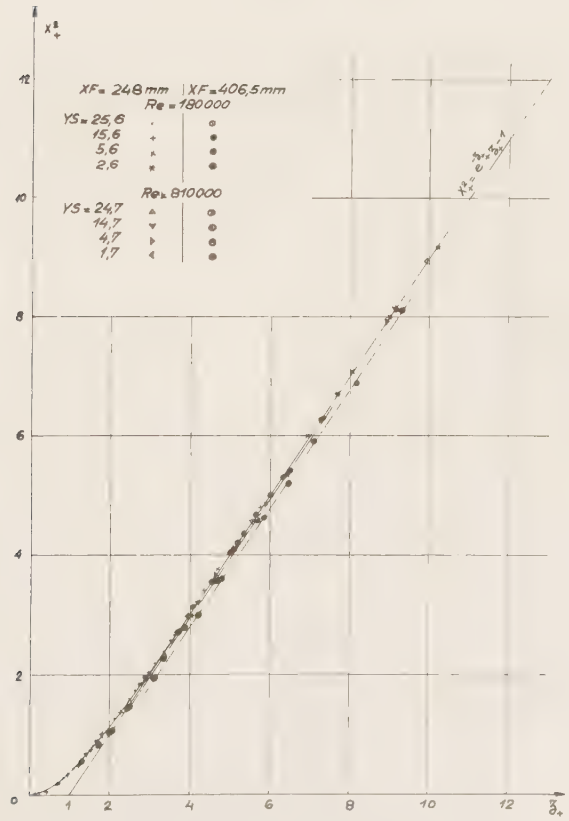


Figure 25 Loi de la variance en coordonnées réduites

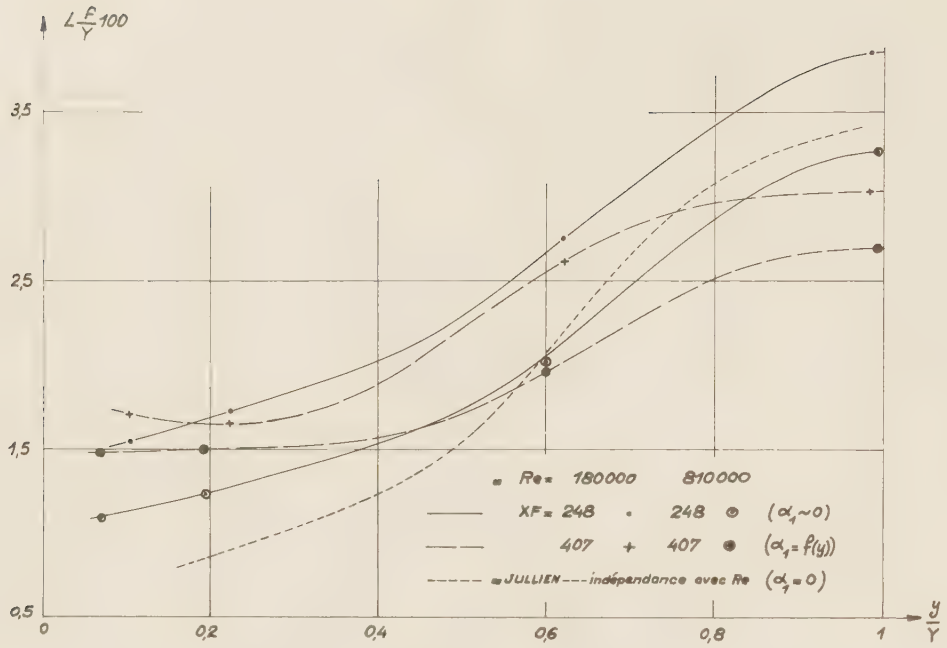


Figure 26

Echelles lagrangiennes
comparaison des résultats avec ceux déjà obtenus
en écoulement plan

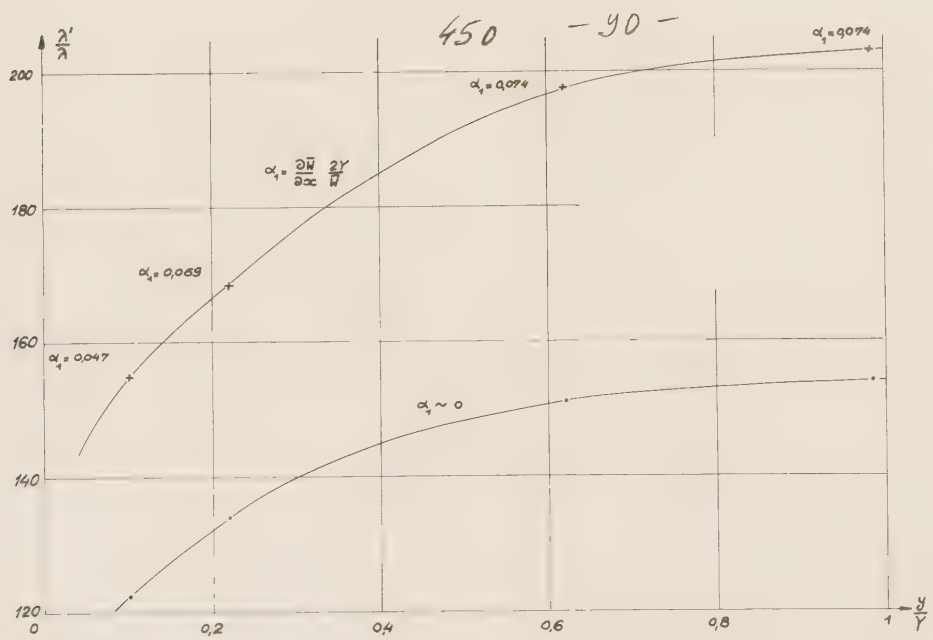


Figure 27

Conductibilité thermique
Re = 180 000
XF = 248 . 407 +

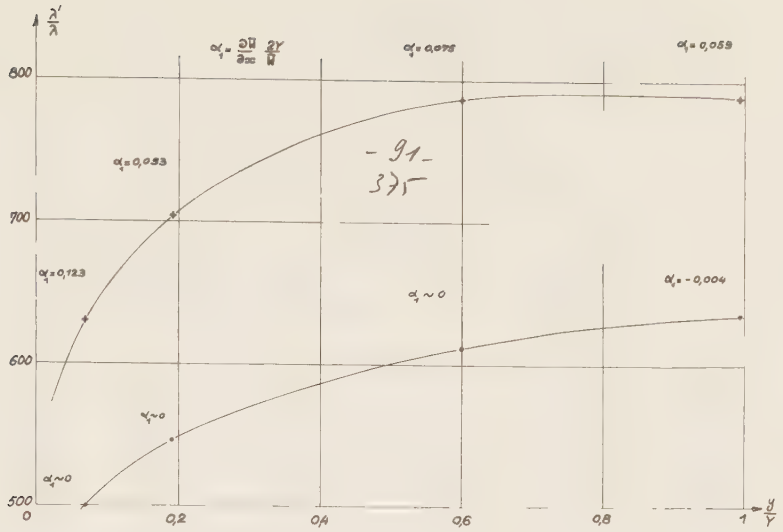


Figure 28

Conductibilité thermique
Re = 810 000
XF = 248 . 407 +

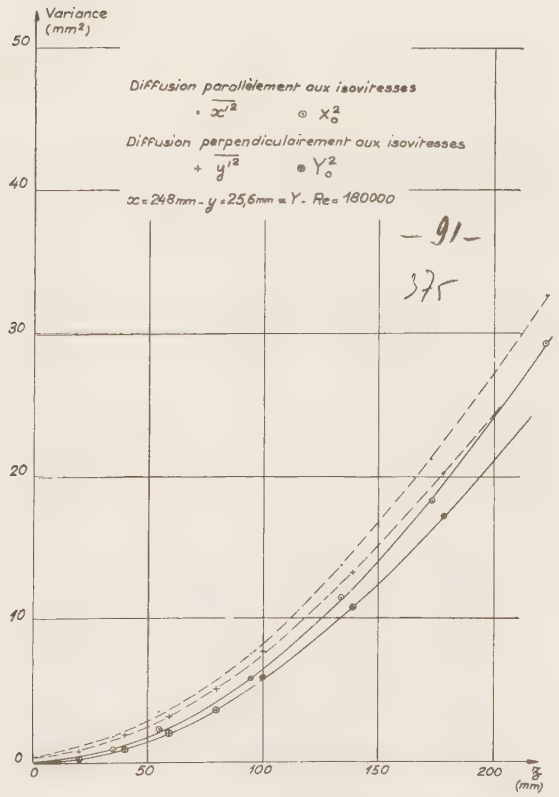


Figure 29

Variation de la fonction de
répartition des particules marquées

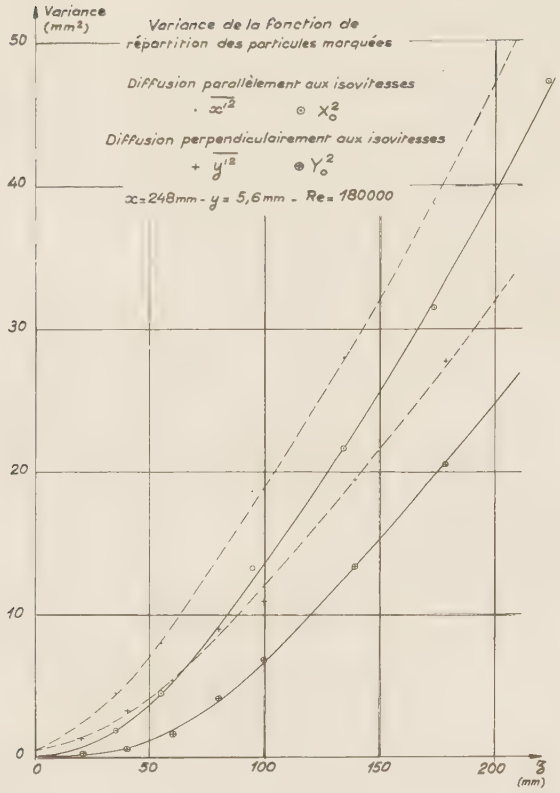


Figure 29-2

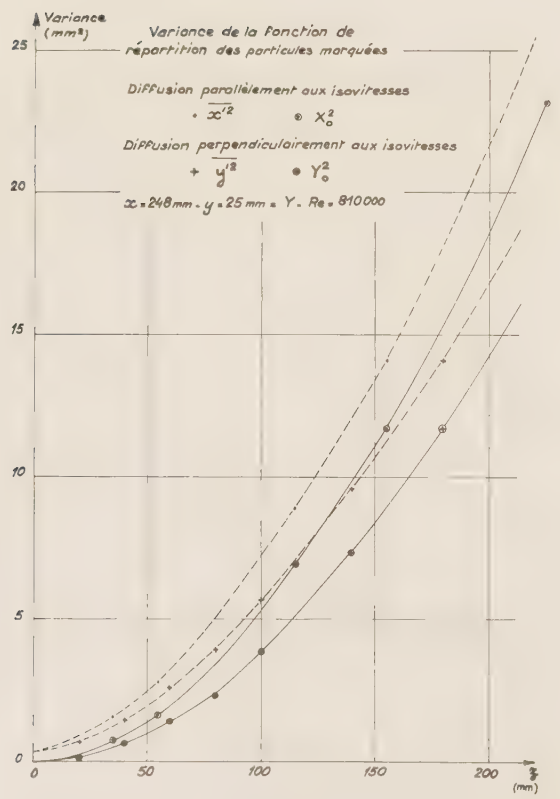


Figure 29-3

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X= 22.4 YM=25.21 WI.4.YM/ν = 119629

P=100092 PA μ = 1.83E-05 DAPO Λ = .0193
T=296.8 °K ρ =1.176 KG/M3 WI= 18.5 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.2 J/KG/°K PR= .708
λ = .0260 W/M/°K γ =1.3991 W*=1.100 M/S

Y(MM)	W (M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
.35	10.66	24.7	9.69	.972	9.28
.45	11.33	31.8	10.30	.965	8.67
1.45	14.16	102.5	12.87	.888	6.10
3.45	16.14	243.9	14.67	.745	4.30
5.45	17.37	385.2	15.79	.614	3.17
7.45	18.27	526.6	16.61	.496	2.36
10.45	19.23	738.6	17.48	.343	1.48
15.45	20.21	1092.0	18.37	.150	.59
20.45	20.70	1445.5	18.82	.036	.15
25.45	20.76	1798.9	18.88	.000	.09
30.45	20.60	2152.3	18.73	.043	.24
35.45	20.38	2505.7	18.25	.165	.71

Tableau 4

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X= 47.4 YM=25.21 WI.4.YM/ν = 124858

P= 99760 PA μ = 1.81E-05 DAPO Λ = .0193
T=293.6 °K ρ =1.195 KG/M3 WI= 19.0 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.1 J/KG/°K PR= .708
λ = .0253 W/M/°K γ =1.3992 W*= .942 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
.35	11.25	15.4	11.94	.980	11.00
.45	12.22	27.6	12.97	.965	9.98
.95	13.85	58.4	14.70	.926	8.24
1.45	14.73	89.1	15.63	.888	7.31
2.45	15.94	150.5	16.92	.815	6.02
3.45	16.76	211.9	17.79	.745	5.16
5.45	17.79	334.8	18.89	.614	4.06
7.45	18.60	457.7	19.74	.496	3.21
10.45	19.46	641.9	20.59	.343	2.35
15.45	20.60	949.1	21.86	.150	1.08
20.45	21.42	1256.3	22.73	.036	.21
25.45	21.63	1563.4	22.95	.000	-.01
30.45	21.39	1870.6	22.70	.043	.25
35.45	21.02	2177.7	21.89	.165	1.05

Tableau 5

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X=197.4 YM=25.21 WI.4.YM/ν = 133999

P= 99913 PA μ = 1.83E-05 DAPO Λ = .0193
T=296.2 °K ρ =1.176 KG/M3 WI= 20.5 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.2 J/KG/°K PR= .710
λ = .0259 W/M/°K γ =1.3992 W*=1.012 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
.35	12.55	22.9	12.41	.972	10.62
.45	13.18	29.5	13.02	.965	10.00
.55	13.62	36.0	13.47	.957	9.56
.65	13.96	42.6	13.80	.949	9.23
.75	14.24	49.1	14.08	.941	8.95
.85	14.56	55.6	14.40	.934	8.63
1.05	15.19	68.7	15.01	.918	8.01
1.25	15.66	81.8	15.48	.903	7.54
1.45	15.95	94.9	15.77	.888	7.25
1.70	16.37	111.3	16.18	.870	6.85
1.95	16.77	127.7	16.57	.851	6.45
2.45	17.31	160.4	17.11	.815	5.91
2.95	17.76	193.1	17.56	.780	5.46
3.45	18.14	225.8	17.93	.745	5.10
3.95	18.46	258.6	18.25	.711	4.78
4.45	18.78	291.3	18.56	.678	4.46
4.95	19.06	324.0	18.84	.646	4.18
5.45	19.30	356.8	19.07	.614	3.95
6.45	19.77	422.2	19.55	.554	3.48
7.45	20.14	487.7	19.91	.496	3.12
8.45	20.53	553.2	20.29	.442	2.73
10.45	21.10	684.1	20.85	.343	2.17
12.45	21.63	815.0	21.38	.256	1.65
14.45	22.05	946.0	21.80	.182	1.23
16.45	22.41	1076.9	22.15	.121	.87
16.45	22.52	1076.9	22.26	.121	.77
18.45	22.83	1207.8	22.57	.072	.45
20.45	23.07	1338.7	22.80	.036	.22
22.45	23.24	1469.7	22.97	.012	.06
24.45	23.29	1600.6	23.02	.001	.01
25.45	23.32	1666.1	23.05	.000	-.03
26.45	23.32	1731.5	23.06	.002	-.03
28.45	23.24	1862.4	22.97	.017	.05
30.45	23.00	1993.4	22.73	.043	.29
35.45	22.29	2320.7	22.03	.165	.99

Tableau 6

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X= 22.4 YM=25.18 WI.4.YM/ν = 106810

P= 99582 PA μ = 1.84E-05 DAPO Λ = .0193
T=298.5 °K ρ =1.156 KG/M3 WI= 16.9 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.3 J/KG/°K PR= .708
λ = .0261 W/M/°K γ =1.3991 W*= .892 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
32.00	18.69	1794.6	20.97	.073	.31
30.00	18.80	1682.4	21.09	.037	.19
28.00	18.87	1570.2	21.17	.013	.11
26.00	18.87	1458.1	21.17	.001	.11
25.00	18.87	1402.0	21.17	.000	.11
24.00	18.87	1345.9	21.17	.002	.11
22.00	18.87	1233.8	21.17	.016	.11
20.00	18.80	1121.6	21.09	.042	.19
18.00	18.66	1009.4	20.93	.081	.35
16.00	18.51	897.3	20.76	.133	.51
14.00	18.25	785.1	20.47	.197	.80
12.00	17.88	673.0	20.05	.274	1.22
10.00	17.38	560.8	19.49	.363	1.78
9.00	17.14	504.7	19.23	.413	2.04
8.00	16.87	448.6	18.92	.466	2.36
7.00	16.58	392.6	18.60	.521	2.67
6.00	16.17	336.5	18.14	.580	3.14
5.00	15.75	280.4	17.66	.642	3.61
4.50	15.49	252.4	17.37	.675	3.90
4.00	15.22	224.3	17.07	.708	4.20
3.50	14.86	196.3	16.67	.741	4.60
3.00	14.49	168.2	16.26	.776	5.02
2.50	14.16	140.2	15.88	.811	5.39
2.00	13.67	112.2	15.34	.847	5.93
1.50	13.12	84.1	14.72	.884	6.56
1.20	12.75	67.3	14.30	.907	6.97
1.00	12.38	56.1	13.88	.922	7.39
.80	11.99	44.9	13.44	.937	7.83
.60	11.47	33.6	12.86	.953	8.41
.50	11.17	28.0	12.53	.961	8.75
.40	10.73	22.4	12.04	.968	9.23
.30	10.08	16.8	11.31	.976	9.96
.25	9.53	14.0	10.69	.980	10.58

Tableau 7

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X= 75. YM=25.19 WI.4.YM/ν = 116369

P= 97931 PA μ = 1.82E-05 DAPO Λ = .0193
T=294.3 °K ρ =1.160 KG/M3 WI= 18.1 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.1 J/KG/°K PR= .708
λ = .0258 W/M/°K γ =1.3992 W*= .869 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.1	13.47	60.8	15.51	.915	8.09
1.3	13.97	71.9	15.97	.899	7.62
1.5	14.33	82.9	16.27	.884	7.32
1.7	14.33	94.0	16.49	.870	7.10
1.9	14.51	105.1	16.71	.855	6.88
2.2	14.96	121.6	17.10	.833	6.48
2.5	15.13	138.2	17.42	.811	6.17
2.8	15.42	154.8	17.75	.790	5.84
3.2	15.70	176.9	18.07	.762	5.51
3.6	15.96	199.1	18.37	.735	5.21
4.1	16.23	226.7	18.68	.701	4.90
4.6	16.32	254.4	19.02	.668	4.57
5.2	16.91	287.5	19.35	.630	4.24
7.0	17.52	387.1	20.17	.521	3.42
11.0	18.68	608.2	21.50	.317	2.09
15.0	19.63	829.4	22.48	.164	1.11
25.00	20.51	1382.4	23.61	.000	-.02

Tableau 8

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X=200.0 YM=25.22 WI.4.YM/ν = 12[illegible]236

P= 98511 PA μ = 1.83E-05 DAPO Λ = .0193
T=297.0 °K ρ =1.156 KG/M3 WI= 18.9 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.2 J/KG/°K PR= .708
λ = .0260 W/M/°K γ =1.3991 W*= .945 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
.25	10.93	14.9	11.57	.980	11.12
.3	11.23	17.9	11.89	.976	10.80
.4	11.94	23.9	12.64	.969	10.05
.5	12.47	29.8	13.20	.961	9.49
.6	12.89	35.8	13.65	.953	9.04
.8	13.44	47.7	14.22	.938	8.47
1.00	13.79	59.6	14.59	.922	8.10
1.20	14.22	71.6	15.05	.907	7.63
1.50	14.69	89.4	15.55	.885	7.14
2.00	15.37	119.3	16.27	.848	6.42
2.50	15.85	149.1	16.78	.812	5.91
3.00	16.27	178.9	17.23	.776	5.46
3.50	16.65	208.7	17.62	.742	5.07
4.00	16.97	238.5	17.96	.708	4.72
5.0	17.48	298.1	18.51	.643	4.18
6.00	18.12	357.8	19.08	.581	3.61
8.00	18.72	477.0	19.82	.466	2.87
10.00	19.32	596.3	20.46	.364	2.23
15.00	20.41	894.4	21.61	.164	1.08
20.00	21.22	1192.5	22.47	.043	.22

Tableau 9

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X=225.0 YM=25.13 WI.4.YM/ν = 121635

P= 98583 PA μ = 1.82E-05 DAPO Λ= .0193
T=294.1 °K ρ =1.168 KG/M3 WI= 18.8 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.1 J/KG/°K PR= .708
λ = .0258 W/M/°K γ =1.3992 W*= .892 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.10	14.03	63.0	15.74	.914	8.20
1.30	14.36	74.4	16.11	.899	7.83
1.50	14.64	85.9	16.42	.884	7.51
1.70	14.87	97.3	16.68	.869	7.26
1.90	15.16	108.8	17.00	.855	6.93
2.20	15.45	125.9	17.33	.833	6.61
2.50	15.73	143.1	17.64	.811	6.29
2.80	15.96	160.3	17.90	.790	6.03
3.20	16.26	183.2	18.23	.762	5.70
3.60	16.55	206.1	18.56	.734	5.38
4.10	16.87	234.7	18.92	.700	5.02
4.60	17.11	263.3	19.19	.667	4.75
5.20	17.44	297.7	19.56	.629	4.38
6.00	17.76	343.5	19.92	.579	4.02
7.00	18.14	400.7	20.34	.520	3.59
8.00	18.50	458.0	20.75	.465	3.18
9.00	18.81	515.2	21.10	.412	2.84
10.00	19.11	572.5	21.44	.362	2.50
11.00	19.32	629.7	21.67	.316	2.26
12.00	19.60	687.0	21.98	.273	1.95
13.00	19.84	744.2	22.25	.233	1.69
14.00	20.11	801.5	22.55	.196	1.38
15.00	20.31	858.7	22.78	.162	1.16
16.50	20.59	944.6	23.09	.118	.85
18.00	20.83	1030.4	23.36	.080	.58
20.00	21.12	1144.9	23.68	.042	.25
25.00	21.43	1431.2	24.04	.000	-.10

Tableau 10

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X=250.0 YM=25.16 WI.4.YM/ν = 120564

P= 98601 PA μ = 1.83E-05 DAPO Λ = .0193
T=296.4 °K ρ =1.159 KG/M3 WI= 18.9 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.2 J/KG/°K PR= .708
λ = .0260 W/M/°K γ =1.3991 W*= .934 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
.25	11.05	14.8	11.84	.980	11.14
.30	11.23	17.7	12.03	.976	10.94
.40	12.05	23.6	12.91	.968	10.07
.50	12.44	29.5	13.32	.961	9.66
.60	12.86	35.5	13.78	.953	9.20
.80	13.48	47.3	14.44	.937	8.54
1.00	13.97	59.1	14.97	.922	8.01
1.20	14.40	70.9	15.43	.907	7.55
1.50	14.84	88.6	15.90	.884	7.08
2.00	15.36	118.2	16.45	.847	6.53
2.50	15.92	147.7	17.05	.811	5.92
3.00	16.34	177.3	17.50	.776	5.48
3.50	16.71	206.8	17.90	.741	5.08
4.00	16.99	236.4	18.20	.707	4.78
5.00	17.58	295.5	18.83	.642	4.15
6.00	18.01	354.6	19.30	.580	3.68
8.00	18.80	472.8	20.14	.465	2.83
10.00	19.37	591.0	20.75	.363	2.23
15.00	20.49	886.4	21.95	.163	1.03
20.00	21.23	1181.9	22.74	.042	.23

Tableau 11

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

X=275.0 YM=25.15 WI.4.YM/ν = 122744

P= 99107 PA μ = 1.72E-05 DAPO Λ = .0193
T=273.2 °K ρ =1.264 KG/M3 WI= 18.9 M/S
DP/DZ= -34 PA/M CP=1006.1 J/KG/°K PR= .671
λ = .0257 W/M/°K γ =1.3992 W*= .906 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.10	14.04	64.4	15.49	.914	8.04
1.30	14.40	76.1	15.89	.899	7.65
1.50	14.70	87.8	16.22	.884	7.32
1.70	14.90	99.5	16.45	.869	7.09
1.90	15.19	111.2	16.77	.855	6.77
2.20	15.48	128.8	17.08	.833	6.45
2.50	15.78	146.4	17.41	.811	6.12
2.80	16.05	163.9	17.72	.790	5.82
3.20	16.30	187.4	17.99	.762	5.54
3.60	16.59	210.8	18.31	.734	5.23
4.10	16.91	240.0	18.66	.701	4.87
4.60	17.23	269.3	19.01	.668	4.52
5.20	17.50	304.4	19.31	.629	4.22
7.00	18.22	409.8	20.10	.521	3.43
11.00	19.47	644.0	21.48	.317	2.05
15.00	20.34	878.2	22.45	.163	1.09
-0.00	0.00	0.0	0.00	1.000	23.53

Tableau 12

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

X= 10.0 YM=25.19 WI.4.YM/ν = 473424

P= 88397 PA μ = 1.81E-05 DAPO Λ = .0130
T=295.7 °K ρ =1.052 KG/M3 WI= 80.6 M/S
DP/DZ=-697 PA/M CP=1005.9 J/KG/°K PR= .710
λ = .0256 W/M/°K γ =1.3993 W*=4.419 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.10	65.11	283.2	14.73	.915	4.52
1.30	66.71	334.7	15.10	.899	4.16
1.50	68.01	386.2	15.39	.884	3.87
1.70	69.07	437.7	15.63	.870	3.63
1.90	70.12	489.2	15.87	.855	3.39
2.20	71.67	566.5	16.22	.833	3.04
2.50	73.16	643.7	16.56	.811	2.70
2.80	74.21	721.0	16.79	.790	2.46
3.20	75.71	824.0	17.13	.762	2.12
3.60	76.95	927.0	17.42	.735	1.84
4.10	78.68	1055.7	17.81	.701	1.45
4.60	80.04	1184.5	18.11	.668	1.14
5.20	81.27	1339.0	18.39	.630	.86
6.00	82.23	1545.0	18.61	.580	.65
7.00	83.55	1802.4	18.91	.521	.35
8.00	84.61	2059.9	19.15	.466	.11
9.00	85.29	2317.4	19.30	.413	-.04
10.00	85.63	2574.9	19.38	.364	-.12
11.00	85.91	2832.4	19.44	.317	-.18
12.00	85.92	3089.9	19.45	.274	-.19
13.00	85.92	3347.4	19.45	.234	-.19
14.00	85.92	3604.9	19.45	.197	-.19
15.00	85.40	3862.4	19.33	.164	-.07
16.50	85.40	4248.6	19.33	.119	-.07
18.00	84.71	4634.9	19.17	.081	.09
20.00	84.34	5149.8	19.09	.042	.17
25.00	83.92	6437.3	18.99	.000	.27

Tableau 13

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

X= 35.0 YM=25.16 WI.4.YM/ν = 512739

P= 88 98 PA μ = 1.79E-05 DAPO λ = .0130
T=294.1 °K ρ =1.059 KG/M3 WI= 86.9 M/S
DP/DZ=-697 PA/M CP=1005.8 J/KG/°K PR= .708
λ = .0255 W/M/°K γ =1.3994 W*=4.543 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.1	63.50	293.1	13.98	.914	7.72
1.3	65.74	346.4	14.47	.899	7.23
1.5	67.31	399.7	14.82	.884	6.88
1.7	68.95	453.0	15.16	.869	6.55
1.9	70.28	506.3	15.47	.855	6.23
2.2	72.17	586.2	15.86	.833	5.84
2.5	73.43	666.2	16.16	.811	5.54
2.8	74.65	746.1	16.43	.790	5.27
3.2	76.14	852.7	16.76	.762	4.94
3.6	77.36	959.3	17.03	.734	4.67
4.1	78.76	1092.5	17.34	.701	4.36
4.6	79.97	1225.8	17.60	.668	4.10
5.2	81.29	1385.7	17.90	.629	3.81
7.0	84.48	1865.3	18.60	.521	3.11
11.0	89.79	2931.2	19.77	.317	1.94
15.0	93.78	3997.1	20.64	.163	1.06
25.0	98.06	6661.9	21.76	.000	-.06

Tableau 14

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

X= 90.0 YM=25.02 WI.4.YM/ν = 541638

P= 88147 PA μ = 1.80E-05 DAPO λ = .0130
T=295.3 °K ρ =1.057 KG/M3 WI= 93.0 M/S
DP/DZ=-697 PA/M CP=1005.8 J/KG/°K PR= .706
λ = .0256 W/M/°K γ =1.3993 W*=4.150 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.1	72.36	265.5	17.56	.914	7.57
1.3	74.40	313.8	17.93	.899	7.20
1.5	75.53	362.1	18.20	.884	6.93
1.7	76.94	410.4	18.54	.869	6.59
1.9	78.19	458.6	18.82	.854	6.31
2.1	78.58	506.9	18.93	.839	6.19
2.3	79.43	555.2	19.14	.825	5.99
2.5	80.24	603.5	19.33	.810	5.79
2.7	81.16	651.7	19.56	.796	5.57
2.9	82.01	700.0	19.76	.782	5.37
3.2	83.58	772.4	20.02	.761	5.11
3.5	83.96	844.8	20.23	.740	4.90
3.8	84.87	917.3	20.45	.719	4.68
4.2	86.13	1013.8	20.73	.692	4.40
4.6	86.85	1110.4	20.93	.666	4.20
5.1	88.50	1231.1	21.20	.634	3.93
5.6	88.95	1351.8	21.43	.602	3.69
6.2	90.11	1496.6	21.71	.566	3.42
8.0	92.96	1931.1	22.40	.463	2.73
11.0	96.59	2655.2	23.28	.314	1.85
15.0	100.21	3620.8	24.15	.160	.98
25.0	104.29	6034.6	25.13	.000	-.00

Tableau 15

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

X=230.0 YM=24.52 WI.4.YM/ν = 526394

P= 88286 PA μ = 1.83E-05 DAPO λ = .0130
T=303.0 °K ρ =1.033 KG/M3 WI= 96.5 M/S
DP/DZ=-697 PA/M CP=1006.1 J/KG/°K PR= .703
λ = .0262 W/M/°K γ =1.3992 W*=4.273 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.10	75.20	261.5	17.60	.912	7.71
1.30	77.07	309.0	18.04	.897	7.27
1.50	78.70	356.6	18.42	.881	6.89
1.70	79.09	404.1	18.72	.866	6.59
1.90	81.13	451.7	18.99	.851	6.33
2.20	82.68	523.0	19.35	.829	5.96
2.50	84.12	594.3	19.66	.806	5.65
2.80	85.26	665.6	19.95	.785	5.36
3.20	86.64	760.7	20.28	.756	5.04
3.60	87.78	855.8	20.54	.728	4.77
4.10	89.22	974.6	20.88	.694	4.43
4.60	90.43	1093.5	21.16	.660	4.15
5.20	91.72	1236.1	21.47	.621	3.85
7.00	95.01	1664.0	22.23	.511	3.08
11.00	100.22	2614.9	23.46	.304	1.86
15.00	103.85	3565.8	24.33	.151	.98
25.00	108.37	5943.0	25.36	.000	-.05

Tableau 16

VITESSES ET
PARAMETRES AERODYNAMIQUES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

X=328.0 YM=24.43 WI.4.YM/ν = 519206

P= 88204 PA μ = 1.84E-05 DAPO λ = .0130
T=304.2 °K ρ =1.027 KG/M3 WI= 96.2 M/S
DP/DZ=-697 PA/M CP=1006.2 J/KG/°K PR= .704
λ = .0263 W/M/°K γ =1.3992 W*=4.281 M/S

Y(MM)	W(M/S)	Y+	W+	(1-Y/YM)2	WM+-W+
1.10	75.34	260.1	17.60	.912	7.56
1.30	77.04	307.4	18.00	.896	7.16
1.50	78.67	354.7	18.38	.881	6.78
1.70	79.75	402.0	18.63	.866	6.53
1.90	80.85	449.2	18.91	.851	6.25
2.20	82.60	520.2	19.30	.828	5.86
2.50	83.98	591.1	19.62	.806	5.54
2.80	85.16	662.0	19.87	.784	5.29
3.20	86.45	756.6	20.19	.755	4.96
3.60	87.66	851.2	20.48	.727	4.68
4.10	89.10	969.4	20.81	.693	4.34
4.60	90.32	1087.6	21.10	.659	4.06
5.20	91.67	1229.5	21.41	.620	3.75
7.00	94.87	1655.1	22.16	.509	3.00
11.00	100.12	2600.9	23.39	.302	1.77
15.00	103.89	3546.6	24.27	.149	.89
25.00	107.71	5911.0	25.16	.001	-.00

Tableau 17

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF= 22.95 MM YS=25.60 MM ZF= 55 MM XMOY= 22.60 MM DTMAX=3.480 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	15.5	17.0	18.5	20.0	20.7	21.5	22.5	23.5	24.5	25.2	26.0	27.5	29.0
DT/DTMAX=	.009	.028	.146	.484	.730	.884	.996	.919	.683	.461	.295	.089	.024

XF= 22.90 MM YS=25.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 22.00 MM DTMAX=1.600 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	7.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	37.0
DT/DTMAX=	.018	.062	.125	.265	.467	.744	.931	1.000	.931	.747	.504	.303	.157	.072	.025

XF= 22.10 MM YS=25.60 MM ZF= 825 MM XMOY= 19.50 MM DTMAX= .547 0K DFIL=1.00 MM

XS(MM)=	2.0	7.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
DT/DTMAX=	.620	.746	.820	.942	1.000	.924	.781	.587	.412	.261	.149

XF= 22.95 MM YS=15.60 MM ZF= 55 MM XMOY= 22.95 MM DTMAX=3.520 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	17.0	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
DT/DTMAX=	.039	.100	.161	.246	.326	.442	.580	.725	.812	.927	.949	.999	.955	.876	.798	.706
XS(MM)=	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	29.0	30.0								
DT/DTMAX=	.557	.434	.319	.217	.162	.097	.040	.023								

XF= 22.85 MM YS=15.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 22.40 MM DTMAX=1.210 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	7.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	37.0
DT/DTMAX=	.020	.069	.151	.300	.504	.735	.921	.984	.987	.802	.576	.421	.253	.142	.060

XF= 22.85 MM YS=15.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 22.20 MM DTMAX=1.190 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	7.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	37.0
DT/DTMAX=	.023	.073	.166	.297	.527	.752	.916	.998	.923	.806	.586	.403	.242	.127	.037

XF= 22.95 MM YS= 5.60 MM ZF= 55 MM XMOY= 23.85 MM DTMAX=1.760 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	14.0	16.0	18.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	30.0	32.0
DT/DTMAX=	.019	.046	.152	.468	.653	.811	.949	.997	.897	.776	.571	.378	.126	.034

Tableau 18

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF= 22.80 MM YS= 5.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 23.20 MM DTMAX= .722 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	7.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0	25.0	27.0	29.0	31.0	33.0	36.0	39.0
DT/DTMAX=	.043	.152	.269	.429	.629	.799	.973	.999	.983	.925	.812	.627	.453	.231	.085

XF= 22.95 MM YS= 2.60 MM ZF= 55 MM XMOY= 24.15 MM DTMAX= .950 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	15.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0
DT/DTMAX=	.035	.096	.168	.279	.435	.604	.780	.891	.974	.963	.826	.659	.504	.328	.193	.113
XS(MM)=	33.0															
DT/DTMAX=	.042															

XF= 22.80 MM YS= 2.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 24.60 MM DTMAX= .567 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	7.0	11.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	37.0	42.0
DT/DTMAX=	.049	.111	.248	.409	.585	.762	.923	.999	.985	.912	.790	.607	.441	.236	.041

XF= 21.85 MM YS= 2.60 MM ZF= 825 MM XMOY= 21.60 MM DTMAX= .321 0K DFIL=1.00 MM

XS(MM)=	2.0	7.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	60.0
DT/DTMAX=	.741	.838	.908	.962	.996	.985	.875	.733	.594	.388	.280	.088

XF= 98.05 MM YS=25.60 MM ZF= 35 MM XMOY= 98.05 MM DTMAX=5.080 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	94.5	95.5	96.0	96.5	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.5
DT/DTMAX=	.049	.236	.402	.645	.833	.922	.996	.957	.796	.552	.331	.170	.035

XF= 97.95 MM YS=25.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 97.95 MM DTMAX=1.616 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	86.0	88.0	90.0	92.0	94.0	96.0	98.0	100.0	102.0	104.0	106.0	108.0	110.0
DT/DTMAX=	.035	.094	.214	.424	.695	.933	1.000	.930	.683	.424	.212	.090	.034

XF= 97.00 MM YS=25.60 MM ZF= 825 MM XMOY= 98.40 MM DTMAX= .501 0K DFIL=1.00 MM

XS(MM)=	65.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	105.0	110.0	115.0	125.0	135.0
DT/DTMAX=	.079	.246	.469	.669	.862	.979	.997	.916	.749	.546	.219	.060

XF= 98.05 MM YS=15.60 MM ZF= 35 MM XMOY= 98.05 MM DTMAX=4.630 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	94.0	95.0	95.5	96.0	96.5	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	102.0
DT/DTMAX=	.039	.145	.262	.420	.607	.795	.921	1.000	.950	.804	.647	.464	.266	.154	.044

Tableau 19

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF= 97.85 MM YS=15.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 98.40 MM DTMAX=1.350 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	84.0	87.0	90.0	93.0	95.0	97.0	98.0	99.0	101.0	103.0	106.0	109.0	112.0
DT/DTMAX=	.034	.121	.268	.590	.808	.973	.995	.997	.887	.677	.337	.131	.046

XF= 98.05 MM YS= 5.60 MM ZF= 35 MM XMOY= 98.05 MM DTMAX=2.460 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	93.0	94.0	95.0	96.0	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0
DT/DTMAX=	.056	.154	.341	.594	.865	.964	1.000	.958	.910	.640	.349	.149	.052

XF= 97.75 MM YS= 5.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 98.40 MM DTMAX= .690 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	84.0	87.0	90.0	93.0	95.0	97.0	98.0	99.0	101.0	103.0	106.0	109.0	112.0
DT/DTMAX=	.086	.192	.400	.674	.861	.960	1.004	.978	.883	.751	.469	.245	.100

XF= 98.05 MM YS= 2.60 MM ZF= 35 MM XMOY= 98.05 MM DTMAX=1.230 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	93.0	94.0	95.0	96.0	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0
DT/DTMAX=	.080	.189	.383	.650	.869	.979	.935	.959	.870	.749	.395	.195	.091

XF= 97.75 MM YS= 2.60 MM ZF= 175 MM XMOY= 98.25 MM DTMAX= .450 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	84.0	87.0	90.0	93.0	95.0	97.0	98.0	99.0	101.0	103.0	106.0	109.0	112.0
DT/DTMAX=	.098	.235	.447	.733	.876	.947	1.010	.989	.922	.795	.549	.288	.120

XF= 96.75 MM YS= 2.60 MM ZF= 825 MM XMOY= 98.40 MM DTMAX= .218 0K DFIL=1.00 MM

XS(MM)=	65.0	75.0	85.0	95.0	105.0	115.0	125.0	135.0
DT/DTMAX=	.086	.312	.668	.972	.921	.662	.314	.087

Tableau 20

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF= 97.40 MM YS=15.60 MM ZF= 525 MM XMOY= 97.90 MM DTMAX= .603 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	75.0	79.0	83.0	87.0	91.0	95.0	99.0	103.0	107.0	111.0	115.0	119.0	
DT/DTMAX=	.1[illegible]	.2[illegible]	.374	.618	.843	1.019	1.044	.918	.768	.469	.271	.148	

XF= 97.40 MM YS=15.60 MM ZF= 525 MM XMOY= 98.40 MM DTMAX= .542 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	75.0	79.0	83.0	87.0	91.0	95.0	99.0	103.0	107.0	111.0	115.0	119.0	
DT/DTMAX=	.1[illegible]	.2[illegible]	.384	.577	.799	.966	.994	.910	.716	.522	.329	.192	

XF= 97.40 MM YS= 5.60 MM ZF= 525 MM XMOY= 98.60 MM DTMAX= .435 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	75.0	79.0	83.0	87.0	91.0	95.0	99.0	103.0	107.0	111.0	115.0	119.0	123.0
DT/DTMAX=	.1[illegible]	.2[illegible]	.444	.616	.788	.961	.995	.926	.754	.581	.410	.205	.102

XF= 97.40 MM YS= 2.60 MM ZF= 525 MM XMOY= 99.00 MM DTMAX= .343 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	75.0	79.0	83.0	87.0	91.0	95.0	99.0	103.0	107.0	111.0	115.0	119.0	123.0
DT/DTMAX=	.1[illegible]4	.2[illegible]	.428	.625	.825	.944	.999	.956	.810	.6[illegible]7	.433	.263	.130

Tableau 21

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=248.30 MM YS=25.60 MM ZF= 35 MM XMOY=247.74 MM DTMAX=2.320 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.5 245. 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0
DT/DTMAX= .061 .137 .265 .437 .627 .826 .975 .975 .827 .667 .454 .252 .136 .039

XF=248.00 MM YS=25.60 MM ZF= 55 MM XMOY=247.76 MM DTMAX=1.664 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.0 244.5 245.0 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0 251.5
DT/DTMAX= .117 .235 .340 .515 .675 .812 .927 1.000 .967 .913 .848 .646 .534 .344 .224 .140
XS(MM)= 252.0
DT/DTMAX= .091

XF=248.00 MM YS=25.60 MM ZF= 95 MM XMOY=247.90 MM DTMAX=1.248 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0
DT/DTMAX= .096 .231 .376 .630 .778 .978 .998 .948 .699 .522 .356 .201 .105

XF=248.30 MM YS=15.60 MM ZF= 35 MM XMOY=247.74 MM DTMAX=2.325 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.5 245.0 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0
DT/DTMAX= .121 .231 .382 .566 .736 .866 .989 .963 .900 .665 .538 .347 .212 .119

XF=248.00 MM YS=15.60 MM ZF= 55 MM XMOY=247.83 MM DTMAX=1.704 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0
DT/DTMAX= .180 .232 .430 .739 .928 .986 .911 .570 .357 .147 .042

XF=248.00 MM YS=15.60 MM ZF= 95 MM XMOY=248.00 MM DTMAX=1.275 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX= .098 .168 .277 .447 .619 .802 .926 .998 .905 .782 .639 .447 .297 .178 .108

Tableau 22

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=248.30 MM YS= 5.60 MM ZF= 35 MM XMOY=247.70 MM DTMAX=2.895 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 242.0 243. 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0
DT/DTMAX= .028 .086 .210 .436 .709 .914 .979 .821 .544 .297 .127 .043

XF=248.30 MM YS= 5.60 MM ZF= 55 MM XMOY=247.72 MM DTMAX=1.926 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 241.0 242. 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX= .060 .137 .243 .445 .641 .833 .981 .999 .907 .715 .537 .321 .180 .099 .042

XF=248.00 MM YS= 5.60 MM ZF= 95 MM XMOY=247.96 MM DTMAX=1.176 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 240.0 241. 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX= .193 .297 .389 .511 .660 .776 .894 .962 .999 .950 .916 .773 .652 .492 .383 .274
XS(MM)= 256.0
DT/DTMAX= .171

XF=248.30 MM YS= 2.60 MM ZF= 35 MM XMOY=247.80 MM DTMAX=2.540 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 242.0 243. 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0
DT/DTMAX= .037 .114 .248 .459 .723 .959 .998 .888 .616 .366 .182 .067

XF=248.00 MM YS= 2.60 MM ZF= 55 MM XMOY=247.88 MM DTMAX=1.568 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 241.0 242. 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX= .076 .167 .271 .462 .689 .834 .951 1.017 .964 .754 .637 .400 .250 .145 .070

XF=248.00 MM YS= 2.60 MM ZF= 95 MM XMOY=248.25 MM DTMAX=1.010 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 240.0 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX= .173 .277 .380 .512 .661 .714 .879 .973 .985 .972 .894 .803 .669 .525 .434 .296
XS(MM)= 256.
DT/DTMAX= .197

Tableau 23

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=247.90 MM YS=25.60 MM ZF= 135 MM XMOY=248.50 MM DTMAX=2.180 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .005 .012 .042 .131 .345 .646 .935 .986 .796 .466 .225 .084 .025 .004

XF=247.70 MM YS=25.60 MM ZF= 175 MM XMOY=248.60 MM DTMAX=1.560 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .014 .045 .112 .231 .436 .745 .925 .994 .867 .634 .371 .192 .087 .040

XF=247.80 MM YS=25.60 MM ZF= 225 MM XMOY=248.55 MM DTMAX=1.620 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 238.0 243. 246.0 249.0 252.0 255.0 258.0 263.0
DT/DTMAX= .254 .7[illegible] .930 .998 .887 .649 .339 .057

XF=247.80 MM YS=25.60 MM ZF= 225 MM XMOY=248.55 MM DTMAX=1.555 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 233.0 236. 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 256.0 258.0 260.0 263.0
DT/DTMAX= .039 .121 .330 .634 .878 .997 .955 .724 .552 .355 .199 .059

XF=247.80 MM YS=25.60 MM ZF= 325 MM XMOY=249.00 MM DTMAX=1.062 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 231.5 234. 236.5 239.0 241.5 244.0 246.5 249.0 251.5 254.0 256.5 259.0 261.5 264.0 266.5
DT/DTMAX= .102 .252 .348 .535 .712 .904 .975 1.000 .950 .928 .729 .547 .354 .206 .097

XF=247.80 MM YS=25.60 MM ZF= 425 MM XMOY=249.40 MM DTMAX= .875 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 221. 228. 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0
DT/DTMAX= .018 .079 .230 .530 .862 .995 .975 .728 .396 .169 .044

XF=247.40 MM YS=25.60 MM ZF= 525 MM XMOY=249.90 MM DTMAX= .730 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 225.0 228. 231.0 234.0 237.0 240.0 243.0 246.0 249.0 252.0 255.0 258.0 261.0 264.0 267.0 270.0
DT/DTMAX= .074 .152 .277 .363 .542 .718 .839 .948 .998 .958 .913 .800 .662 .462 .326 .202
XS(MM)= 273.0 276.
DT/DTMAX= .119 .031

XF=247.50 MM YS=25.60 MM ZF= 625 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .628 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 228.0 233. 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0
DT/DTMAX= .255 .367 .628 .859 .975 .983 .840 .626 .384 .191

XF=247.10 MM YS=25.60 MM ZF= 725 MM XMOY=250.30 MM DTMAX= .527 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228. 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .143 .262 .505 .679 .882 .977 .994 .858 .677 .488 .253 .084

Tableau 24

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=247.00 MM YS=25.60 MM ZF= 825 MM XMOY=251.40 MM DTMAX= .481 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228. 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0 283.0
DT/DTMAX= .169 .261 .501 .706 .890 .984 .997 .943 .756 .563 .360 .186 .103

XF=247.90 MM YS=15.60 MM ZF= 135 MM XMOY=248.60 MM DTMAX=1.744 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .012 .042 .087 .206 .401 .673 .948 .987 .851 .600 .353 .151 .067 .028

XF=247.70 MM YS=15.60 MM ZF= 175 MM XMOY=248.95 MM DTMAX=1.338 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .045 .068 .166 .293 .455 .738 .945 .999 .926 .712 .464 .290 .148 .078

XF=247.80 MM YS=15.60 MM ZF= 225 MM XMOY=248.85 MM DTMAX= .990 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 233.0 236. 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 256.0 258.0 260.0 263.0
DT/DTMAX= .058 .155 .372 .629 .870 .992 .954 .781 .601 .421 .246 .100

XF=247.80 MM YS=15.60 MM ZF= 325 MM XMOY=249.00 MM DTMAX= .731 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 231.5 234. 236.5 239.0 241.5 244.0 246.5 249.0 251.5 254.0 256.5 259.0 261.5 264.0 266.5
DT/DTMAX= .119 .258 .348 .540 .749 .889 .967 .999 .955 .886 .784 .633 .380 .255 .173

XF=247.80 MM YS=15.60 MM ZF= 425 MM XMOY=250.20 MM DTMAX= .590 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228. 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0
DT/DTMAX= .027 .132 .304 .595 .883 .965 .997 .865 .510 .253 .107

XF=247.40 MM YS=15.60 MM ZF= 525 MM XMOY=250.05 MM DTMAX= .555 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 225.0 228. 231.0 234.0 237.0 240.0 243.0 246.0 249.0 252.0 255.0 258.0 261.0 264.0 267.0 270.0
DT/DTMAX= .060 .154 .247 .392 .575 .718 .870 .932 .994 .987 .961 .840 .673 .513 .399 .250
XS(MM)= 273.0 276.
DT/DTMAX= .185 .007

XF=247.50 MM YS=15.60 MM ZF= 625 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .480 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 228.0 233. 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .157 .416 .634 .820 .981 .965 .837 .639 .364 .190 .095

Tableau 25

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=247.10 MM YS=15.60 MM ZF= 725 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .432 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .185 .333 .472 .761 .850 .987 .990 .859 .768 .495 .313 .145

XF=247.00 MM YS=15.60 MM ZF= 825 MM XMOY=251.20 MM DTMAX= .414 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .143 .316 .523 .686 .881 .983 .992 .912 .768 .545 .379 .177

XF=247.90 MM YS= 5.60 MM ZF= 135 MM XMOY=248.55 MM DTMAX=1.000 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .039 .098 .210 .377 .633 .817 1.023 .997 .928 .748 .533 .302 .184 .073

XF=247.70 MM YS= 5.60 MM ZF= 175 MM XMOY=249.00 MM DTMAX= .760 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .085 .191 .288 .443 .595 .807 .955 .999 .954 .776 .620 .409 .271 .175

XF=247.80 MM YS= 5.60 MM ZF= 225 MM XMOY=248.80 MM DTMAX= .347 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 233.0 236. 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 256.0 258.0 260.0 263.0
DT/DTMAX= .1[illegible]2 .2[illegible] .454 .687 .930 .996 .938 .817 .670 .494 .325 .155

XF=247.80 MM YS= 5.60 MM ZF= 325 MM XMOY=249.00 MM DTMAX= .315 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 234.0 236.5 239.0 241.5 244.0 246.5 249.0 251.5 254.0 256.5 259.0 261.5 264.0
DT/DTMAX= .299 .469 .485 .703 .865 .891 .947 .938 .930 .735 .614 .460 .314

XF=247.80 MM YS= 5.60 MM ZF= 425 MM XMOY=250.00 MM DTMAX= .273 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0
DT/DTMAX= .063 .146 .332 .579 .779 .994 .876 .765 .470 .263 .104

XF=247.40 MM YS= 5.60 MM ZF= 525 MM XMOY=250.05 MM DTMAX= .295 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 222.0 228.0 234.0 240.0 246.0 252.0 258.0 264.0 270.0 276.0
DT/DTMAX= .033 .124 .458 .739 .923 .987 .785 .486 .272 .110

Tableau 26

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=247.50 MM YS= 5.60 MM ZF= 625 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .266 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .294 .496 .639 .860 .927 .984 .917 .630 .457 .219 .076

XF=247.10 MM YS= 5.60 MM ZF= 725 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .249 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .108 .325 .562 .698 .907 1.045 .940 .887 .845 .594 .354 .332

XF=247.00 MM YS= 5.60 MM ZF= 825 MM XMOY=251.20 MM DTMAX= .252 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 218.0 228. 238.0 248.0 258.0 268.0 278.0 288.0
DT/DTMAX= .127 .4[illegible]3 .743 .995 .956 .577 .238 .079

XF=247.90 MM YS= 2.60 MM ZF= 135 MM XMOY=248.85 MM DTMAX= .820 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237.0 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .3[illegible]1 .1[illegible] .234 .342 .558 .701 .864 1.001 .871 .678 .495 .335 .164 .069

XF=247.70 MM YS= 2.60 MM ZF= 175 MM XMOY=248.80 MM DTMAX= .610 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 235.0 237. 239.0 241.0 243.0 245.0 247.0 249.0 251.0 253.0 255.0 257.0 259.0 261.0
DT/DTMAX= .1[illegible]4 .106 .318 .550 .726 .862 .951 .998 .935 .829 .616 .414 .258 .150

XF=247.80 MM YS= 2.60 MM ZF= 225 MM XMOY=248.80 MM DTMAX= .260 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 233.0 236.0 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 256.0 258.0 260.0 263.0
DT/DTMAX= .113 .259 .442 .619 .895 .976 .978 .753 .686 .528 .362 .127

XF=247.80 MM YS= 2.60 MM ZF= 325 MM XMOY=249.00 MM DTMAX= .243 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 234.0 236.5 239.0 241.5 244.0 246.5 249.0 251.5 254.0 256.5 259.0 261.5 264.0
DT/DTMAX= .251 .4[illegible] .586 .701 .837 .961 .970 .968 .852 .672 .576 .459 .323

XF=247.80 MM YS= 2.60 MM ZF= 425 MM XMOY=249.40 MM DTMAX= .213 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0
DT/DTMAX= .090 .157 .348 .596 .823 .981 .970 .721 .394 .247 .135

Tableau 27

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=247.40 MM YS= 2.60 MM ZF= 525 MM XMOY=249.90 MM DTMAX= .239 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 222.0 228.0 234.0 240.0 246.0 252.0 258.0 264.0 270.0 276.0
DT/DTMAX= .117 .17[illegible] .425 .681 .957 .976 .783 .411 .283 .073

XF=247.50 MM YS= 2.60 MM ZF= 625 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .226 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .21[illegible] .495 .636 .838 .966 .993 .921 .635 .392 .250 .119

XF=247.10 MM YS= 2.60 MM ZF= 725 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .224 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0
DT/DTMAX= .276 .379 .497 .624 .867 .996 .972 .937 .647 .554 .370 .265

XF=247.00 MM YS= 2.60 MM ZF= 825 MM XMOY=251.30 MM DTMAX= .223 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 223.0 228.0 233.0 238.0 243.0 248.0 253.0 258.0 263.0 268.0 273.0 278.0 283.0
DT/DTMAX= .216 .372 .537 .765 .893 .974 .997 .928 .790 .617 .389 .263 .160

Tableau 28

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.50 MM YS=25.60 MM ZF= 15 MM XMOY=406.02 MM DTMAX=2.895 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 404.5 404.7 405.0 405.2 405.5 405.7 406.0 406.3 406.5 406.7 407.0 407.2 407.5
DT/DTMAX= .051 .161 .272 .483 .672 .894 .993 .921 .717 .443 .263 .121 .053

XF=406.50 MM YS=25.60 MM ZF= 35 MM XMOY=406.46 MM DTMAX=1.357 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5
DT/DTMAX= .032 .089 .164 .296 .484 .719 .920 .993 .900 .725 .456 .270 .111 .073

XF=406.45 MM YS=25.60 MM ZF= 55 MM XMOY=407.44 MM DTMAX= .918 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5 410.0 410.5
DT/DTMAX= .091 .140 .205 .281 .429 .563 .732 .878 .960 .994 .935 .892 .668 .540 .386 .256
XS(MM)= 411.0 411.5 412.0
DT/DTMAX= .153 .082 .063

XF=406.45 MM YS=25.60 MM ZF= 75 MM XMOY=406.98 MM DTMAX= .689 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0
DT/DTMAX= .093 .168 .299 .464 .705 .892 .993 .881 .703 .445 .227 .100 .043

XF=406.45 MM YS=25.60 MM ZF= 115 MM XMOY=406.80 MM DTMAX= .470 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 399.0 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0
DT/DTMAX= .140 .178 .295 .422 .561 .714 .882 .933 .974 .946 .796 .668 .498 .349 .196 .129

XF=406.40 MM YS=25.60 MM ZF= 135 MM XMOY=407.19 MM DTMAX= .416 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 399.0 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0
DT/DTMAX= .180 .241 .359 .486 .595 .700 .816 .899 .990 .956 .841 .763 .620 .441 .340 .226
XS(MM)= 415.0
DT/DTMAX= .147

XF=406.40 MM YS=25.60 MM ZF= 155 MM XMOY=407.25 MM DTMAX=1.589 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0
DT/DTMAX= .053 .133 .258 .445 .691 .914 .984 .951 .742 .465 .260 .098 .039

XF=406.40 MM YS=25.60 MM ZF= 185 MM XMOY=407.30 MM DTMAX=1.372 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 393.0 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .064 .106 .219 .347 .531 .717 .897 1.014 .931 .804 .581 .370 .211 .098 .055

Tableau 29

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.35 MM YS=25.60 MM ZF= 225 MM XMOY=408.20 MM DTMAX=1.105 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0
DT/DTMAX= .053 .132 .284 .504 .747 .930 .980 .820 .543 .294 .143 .041

XF=406.35 MM YS=25.60 MM ZF= 275 MM XMOY=407.20 MM DTMAX= .965 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0
DT/DTMAX= .058 .111 .239 .402 .607 .824 .987 .961 .834 .585 .389 .199 .092 .022

XF=406.30 MM YS=25.60 MM ZF= 375 MM XMOY=407.90 MM DTMAX= .710 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .081 .130 .212 .376 .558 .724 .874 .974 .991 .907 .740 .608 .409 .229 .163 .065

XF=406.25 MM YS=25.60 MM ZF= 425 MM XMOY=407.60 MM DTMAX= .658 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .094 .207 .301 .434 .586 .796 .930 .987 .968 .954 .815 .624 .452 .320 .188 .113
XS(MM)= 433.0
DT/DTMAX= .056

XF=406.20 MM YS=25.60 MM ZF= 525 MM XMOY=408.00 MM DTMAX= .528 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .195 .293 .391 .514 .662 .786 .860 .960 1.009 .935 .835 .711 .563 .416 .318 .220
XS(MM)= 433.0 436.0
DT/DTMAX= .146 .097

XF=406.15 MM YS=25.60 MM ZF= 575 MM XMOY=408.20 MM DTMAX= .501 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 378.0 382.0 386.0 390.0 394.0 398.0 402.0 406.0 410.0 414.0 418.0 422.0 426.0 430.0 434.0 438.0
DT/DTMAX= .116 .173 .231 .347 .522 .727 .903 .961 .991 .873 .756 .551 .376 .260 .144 .087

XF=406.10 MM YS=25.60 MM ZF= 635 MM XMOY=408.60 MM DTMAX= .447 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0
DT/DTMAX= .162 .259 .455 .651 .814 .979 1.002 .913 .782 .552 .324 .194

XF=406.05 MM YS=25.60 MM ZF= 725 MM XMOY=409.00 MM DTMAX= .378 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX= .090 .190 .349 .476 .668 .828 .956 .988 .924 .764 .572 .381 .222 .095 .032

Tableau 30

DIFFUSION "PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.00 MM YS=25.60 MM ZF= 825 MM XMOY=410.00 MM DTMAX= .352 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX= .136 .238 .375 .546 .717 .855 .968 .992 .958 .820 .683 .477 .272 .140 .068

XF=406.60 MM YS=15.60 MM ZF= 15 MM XMOY=406.33 MM DTMAX=2.670 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 404.5 404.7 405.0 405.2 405.5 405.7 406.0 406.3 406.5 406.7 407.0 407.2 407.5 407.7 408.0
DT/DTMAX= .051 .109 .180 .327 .448 .701 .903 .987 .986 .809 .578 .381 .255 .153 .072

XF=406.60 MM YS=15.60 MM ZF= 35 MM XMOY=406.94 MM DTMAX=1.301 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5 410.0 410.5
DT/DTMAX= .047 .072 .143 .228 .388 .555 .783 .895 .992 .912 .723 .516 .343 .185 .099 .046
XS(MM)= 411.0
DT/DTMAX= .023

XF=406.55 MM YS=15.60 MM ZF= 55 MM XMOY=407.70 MM DTMAX= .886 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0
DT/DTMAX= .113 .242 .442 .710 .941 .984 .804 .550 .308 .112

XF=406.55 MM YS=15.60 MM ZF= 75 MM XMOY=407.58 MM DTMAX= .665 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0
DT/DTMAX= .085 .144 .244 .405 .600 .809 .924 .996 .831 .626 .467 .256 .113

XF=406.55 MM YS=15.60 MM ZF= 115 MM XMOY=407.60 MM DTMAX= .458 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 399.0 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0
DT/DTMAX= .095 .162 .295 .340 .456 .656 .769 .901 .999 .987 .893 .829 .793 .539 .369 .273
XS(MM)= 415.0 416.0
DT/DTMAX= .167 .122

XF=406.50 MM YS=15.60 MM ZF= 135 MM XMOY=407.90 MM DTMAX= .406 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 399.0 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0
DT/DTMAX= .174 .250 .291 .377 .546 .653 .787 .817 .883 .994 .949 .851 .767 .613 .505 .348
XS(MM)= 415.0 416.0 417.0
DT/DTMAX= .261 .210 .121

XF=406.50 MM YS=15.60 MM ZF= 155 MM XMOY=408.15 MM DTMAX=1.496 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .044 .109 .223 .368 .616 .819 .967 .970 .834 .653 .404 .261 .129 .055

Tableau 31

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.50 MM YS=15.60 MM ZF= 185 MM XMOY=407.90 MM DTMAX=1.343 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 393.0 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0 423.0
DT/DTMAX= .071 .103 .194 .319 .498 .703 .835 .987 .952 .876 .686 .496 .309 .184 .101 .036

XF=406.45 MM YS=15.60 MM ZF= 225 MM XMOY=408.80 MM DTMAX=1.052 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0
DT/DTMAX= .057 .115 .236 .464 .694 .903 .993 .923 .647 .416 .215 .091 .041

XF=406.45 MM YS=15.60 MM ZF= 275 MM XMOY=408.40 MM DTMAX= .927 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0
DT/DTMAX= .038 .110 .219 .406 .581 .833 .962 .991 .913 .707 .511 .306 .148 .078

XF=406.40 MM YS=15.60 MM ZF= 375 MM XMOY=409.00 MM DTMAX= .696 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .083 .133 .200 .317 .485 .687 .840 .942 .994 .960 .857 .671 .518 .350 .216 .100
XS(MM)= 433.0
DT/DTMAX= .050

XF=406.35 MM YS=15.60 MM ZF= 425 MM XMOY=409.40 MM DTMAX= .642 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .096 .154 .250 .386 .542 .717 .855 .953 .992 .973 .874 .737 .581 .405 .289 .173
XS(MM)= 433.0
DT/DTMAX= .115

XF=406.30 MM YS=15.60 MM ZF= 525 MM XMOY=409.50 MM DTMAX= .523 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .123 .222 .345 .469 .594 .743 .868 .943 .993 .969 .893 .793 .668 .519 .395 .246
XS(MM)= 433.0 436.0
DT/DTMAX= .172 .098

XF=406.25 MM YS=15.60 MM ZF= 575 MM XMOY=410.00 MM DTMAX= .470 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 378.0 382.0 386.0 390.0 394.0 398.0 402.0 406.0 410.0 414.0 418.0 422.0 426.0 430.0 434.0 438.0
DT/DTMAX= .092 .154 .247 .370 .519 .712 .858 .962 .993 .967 .868 .716 .525 .375 .216 .123

XF=406.20 MM YS=15.60 MM ZF= 635 MM XMOY=410.50 MM DTMAX= .454 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0
DT/DTMAX= .124 .223 .383 .576 .737 .931 .964 .937 .770 .608 .415 .255 .127

Tableau 32

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.15 MM YS=15.60 MM ZF= 725 MM XMOY=411.60 MM DTMAX= .381 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX= .063 .126 .283 .441 .599 .758 .917 .991 .981 .853 .694 .504 .315 .220 .094

XF=406.10 MM YS=15.60 MM ZF= 825 MM XMOY=412.30 MM DTMAX= .367 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX= .124 .196 .327 .491 .622 .754 .919 .975 .985 .886 .721 .556 .392 .228 .130

XF=406.70 MM YS= 5.60 MM ZF= 15 MM XMOY=406.74 MM DTMAX=2.310 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 404.5 404.7 405.0 405.2 405.5 405.7 406.0 406.3 406.5 406.7 407.0 407.2 407.5 407.7 408.0 408.2
DT/DTMAX= .098 .153 .228 .325 .466 .568 .741 .898 .949 .997 .945 .850 .744 .576 .453 .296
XS(MM)= 408.5 408.7 409.0
DT/DTMAX= .219 .141 .091

XF=406.70 MM YS= 5.60 MM ZF= 35 MM XMOY=407.53 MM DTMAX=1.095 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5 410.0 410.5
DT/DTMAX= .090 .127 .228 .331 .441 .594 .759 .878 .987 .993 .977 .894 .775 .579 .471 .328
XS(MM)= 411.0 411.5 412.0
DT/DTMAX= .228 .145 .102

XF=406.65 MM YS= 5.60 MM ZF= 55 MM XMOY=408.54 MM DTMAX= .806 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0 415.0
DT/DTMAX= .063 .176 .309 .465 .674 .871 .961 .983 .887 .619 .470 .297 .163 .125

XF=406.65 MM YS= 5.60 MM ZF= 75 MM XMOY=408.31 MM DTMAX= .618 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0 415.0
DT/DTMAX= .091 .153 .232 .321 .482 .661 .800 .924 .942 .978 .840 .758 .597 .452 .330 .179
XS(MM)= 416.0
DT/DTMAX= .138

XF=406.65 MM YS= 5.60 MM ZF= 115 MM XMOY=408.75 MM DTMAX= .399 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .044 .189 .301 .483 .798 .969 .994 .945 .727 .519 .266 .159 .037

XF=406.60 MM YS= 5.60 MM ZF= 135 MM XMOY=409.20 MM DTMAX= .355 0K DFIL= .05 MM
XS(MM)= 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .109 .210 .344 .559 .808 .937 .954 .971 .826 .577 .336 .226 .125

Tableau 33

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.60 MM YS= 5.60 MM ZF= 155 MM XMOY=409.65 MM DTMAX= .912 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0 423.0
DT/DTMAX= .076 .125 .227 .382 .563 .736 .924 .987 .978 .841 .688 .487 .313 .161 .090

XF=406.60 MM YS= 5.60 MM ZF= 185 MM XMOY=409.35 MM DTMAX= .915 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 391.0 393.0 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .047 .075 .123 .178 .313 .478 .661 .840 .947 1.019 .965 .888 .726 .531 .403 .261
XS(MM)= 423.0 425.
DT/DTMAX= .162 .06

XF=406.55 MM YS= 5.60 MM ZF= 225 MM XMOY=410.00 MM DTMAX= .820 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .071 .121 .248 .448 .669 .844 .971 .977 .784 .583 .368 .232 .074 .028

XF=406.55 MM YS= 5.60 MM ZF= 275 MM XMOY=410.60 MM DTMAX= .676 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 388.0 391. 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .044 .088 .164 .292 .513 .696 .910 .970 .991 .846 .726 .493 .315 .176 .064

XF=406.50 MM YS= 5.60 MM ZF= 375 MM XMOY=411.80 MM DTMAX= .530 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .044 .087 .153 .262 .438 .592 .725 .903 .960 .992 .970 .836 .703 .548 .372 .240
XS(MM)= 433.0 436.
DT/DTMAX= .131 .080

XF=406.45 MM YS= 5.60 MM ZF= 425 MM XMOY=412.20 MM DTMAX= .501 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .074 .123 .197 .271 .420 .569 .744 .894 .969 .994 .980 .919 .769 .619 .470 .346
XS(MM)= 433.0 436.0 439.0
DT/DTMAX= .247 .148 .099

XF=406.40 MM YS= 5.60 MM ZF= 525 MM XMOY=413.10 MM DTMAX= .433 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 385.0 388. 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX= .119 .182 .238 .387 .477 .597 .717 .837 .928 .988 .958 .898 .777 .687 .567 .447
XS(MM)= 433.0 436.0 439.0
DT/DTMAX= .328 .2[illegible] .149

Tableau 34

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XF=406.35 MM YS= 5.60 MM ZF= 575 MM XMOY=414.00 MM DTMAX= .411 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 378.0 382.0 386.0 390.0 394.0 398.0 402.0 406.0 410.0 414.0 418.0 422.0 426.0 430.0 434.0 438.0
DT/DTMAX= .070 .136 .176 .282 .388 .524 .699 .865 .963 .993 .951 .850 .708 .530 .393 .247
XS(MM)= 442.0
DT/DTMAX= .141

XF=406.30 MM YS= 5.60 MM ZF= 635 MM XMOY=414.45 MM DTMAX= .385 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX= .075 .18[illegible] .266 .452 .641 .793 .907 .984 .946 .755 .604 .414 .263 .148

XF=406.25 MM YS= 5.60 MM ZF= 725 MM XMOY=414.20 MM DTMAX= .315 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0 450.0
DT/DTMAX= .189 .196 .342 .536 .686 .878 .955 .994 .917 .840 .697 .533 .381 .228 .114

XF=406.20 MM YS= 5.60 MM ZF= 825 MM XMOY=416.80 MM DTMAX= .330 OK DFIL= .30 MM
XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0 450.0
DT/DTMAX= .073 .145 .218 .363 .509 .692 .838 .948 .985 .953 .912 .765 .619 .436 .254 .148
XS(MM)= 455.0
DT/DTMAX= .174

XF=4[illegible] MM YS= 2.60 MM ZF= 15 MM XMOY=406.65 MM DTMAX=2.145 OK DFIL= .05 MM
XS(MM)= 404.5 404.7 405.0 405.2 405.5 405.7 406.0 406.3 406.5 406.7 407.0 407.2 407.5 407.7 408.0 408.2
DT/DTMAX= .144 .2[illegible] .342 .449 .580 .707 .853 .933 .988 .991 .946 .853 .761 .615 .487 .394
XS(MM)= 408.5 408.7 409.0
DT/DTMAX= .2[illegible] .1[illegible] .129

XF=406.70 MM YS= 2.60 MM ZF= 35 MM XMOY=407.76 MM DTMAX=1.085 OK DFIL= .05 MM
XS(MM)= 403.[illegible] 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5 410.0 410.5
DT/DTMAX= .1[illegible] .1[illegible] .262 .320 .456 .581 .692 .824 .936 .927 .990 .943 .836 .704 .554 .464
XS(MM)= 411.0 411.5 412.0
DT/DTMAX= .3[illegible] .22[illegible] .168

XF=406.65 MM YS= 2.60 MM ZF= 55 MM XMOY=408.51 MM DTMAX= .746 OK DFIL= .05 MM
XS(MM)= 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0 415.0
DT/DTMAX= .114 .213 .380 .531 .740 .894 .983 .982 .875 .731 .577 .365 .217 .123

Tableau 35

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

```
XF=406.65 MM  YS= 2.60 MM  ZF=  75 MM  XMOY=408.72 MM  DTMAX= .578 0K          DFIL= .05 MM
 XS(MM)= 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0 415.0
DT/DTMAX=  .067  .128  .213  .321  .459  .583  .782  .912  .982  .987  .949  .802  .707  .547  .433  .315
 XS(MM)= 416.0 417.0
DT/DTMAX=  .182  .122

XF=406.65 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 115 MM  XMOY=409.34 MM  DTMAX= .384 0K          DFIL= .05 MM
 XS(MM)= 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX=  .061  .142  .293  .475  .700  .827  .993  .930  .752  .523  .329  .150  .118

XF=406.60 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 135 MM  XMOY=409.53 MM  DTMAX= .340 0K          DFIL= .05 MM
 XS(MM)= 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX=  .113  .262  .314  .554  .730  .883  .953  .980  .847  .599  .431  .299  .149

XF=406.60 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 155 MM  XMOY=410.25 MM  DTMAX= .683 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0 423.0
DT/DTMAX=  .033  .089  .169  .317  .528  .675  .839  .989  .968  .912  .718  .517  .390  .221  .109

XF=406.60 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 185 MM  XMOY=409.95 MM  DTMAX= .720 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 391.0 393.0 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX=  .019  .055  .113  .173  .289  .435  .605  .760  .921  .953  .980  .892  .759  .575  .425  .277
 XS(MM)= 423.0 425.0
DT/DTMAX=  .192  .091

XF=406.55 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 225 MM  XMOY=410.90 MM  DTMAX= .657 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX=  .036  .096  .210  .418  .598  .827  .987  .984  .895  .623  .440  .282  .120  .053

XF=406.55 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 275 MM  XMOY=411.00 MM  DTMAX= .545 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0 433.0
DT/DTMAX=  .030  .084  .163  .319  .477  .670  .865  .972  .991  .922  .744  .564  .363  .199  .109  .050

XF=406.50 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 375 MM  XMOY=412.50 MM  DTMAX= .447 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX=  .052  .078  .129  .233  .363  .519  .676  .834  .965  .991  .975  .886  .729  .598  .415  .285
 XS(MM)= 433.0 436.0
DT/DTMAX=  .181  .104
```

Tableau 36

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

```
XF=406.45 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 425 MM  XMOY=413.20 MM  DTMAX= .440 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX=  .056  .094  .140  .281  .394  .563  .648  .847  .933  .990  .974  .904  .819  .677  .507  .365
 XS(MM)= 433.0 436.0 439.0
DT/DTMAX=  .253  .168  .084

XF=406.40 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 525 MM  XMOY=414.65 MM  DTMAX= .372 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 385.0 388.0 391.0 394.0 397.0 400.0 403.0 406.0 409.0 412.0 415.0 418.0 421.0 424.0 427.0 430.0
DT/DTMAX=  .101  .138  .199  .304  .439  .575  .666  .813  .915  .983  .994  .949  .881  .779  .677  .541
 XS(MM)= 433.0 436.0 439.0 442.0
DT/DTMAX=  .371  .270  .202  .135

XF=406.35 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 575 MM  XMOY=415.20 MM  DTMAX= .356 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 378.0 382.0 386.0 390.0 394.0 398.0 402.0 406.0 410.0 414.0 418.0 422.0 426.0 430.0 434.0 438.0
DT/DTMAX=  .041  .081  .122  .203  .326  .489  .694  .817  .899  .981  .993  .858  .776  .612  .448  .285
 XS(MM)= 442.0
DT/DTMAX=  .163

XF=406.30 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 635 MM  XMOY=415.00 MM  DTMAX= .337 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0
DT/DTMAX=  .086  .172  .258  .430  .603  .819  .950  .993  .939  .824  .646  .425  .301  .167

XF=406.25 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 725 MM  XMOY=415.00 MM  DTMAX= .278 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0 450.0
DT/DTMAX=  .086  .172  .264  .431  .604  .821  .904  .995  .952  .865  .734  .561  .388  .258  .129

XF=406.20 MM  YS= 2.60 MM  ZF= 825 MM  XMOY=415.00 MM  DTMAX= .291 0K          DFIL= .30 MM
 XS(MM)= 375.0 380.0 385.0 390.0 395.0 400.0 405.0 410.0 415.0 420.0 425.0 430.0 435.0 440.0 445.0 450.0
DT/DTMAX=  .082  .130  .206  .373  .536  .702  .868  .951  .992  .955  .863  .743  .619  .495  .369  .247
 XS(MM)= 455.0
DT/DTMAX=  .123
```

Tableau 37

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

```
XF=248.30 MM  YS=24.70 MM  ZF=  35 MM  XMOY=247.86 MM  DTMAX=1.456 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5
DT/DTMAX=  .163  .329  .566  .783  .950 1.999  .868  .653  .427  .226  .109

XF=248.00 MM  YS=24.70 MM  ZF=  55 MM  XMOY=248.83 MM  DTMAX=1.110 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0 251.5 252.0 252.5
DT/DTMAX=  .133  .264  .410  .553  .723  .864  .975  .995  .893  .776  .622  .459  .288  .179  .071

XF=248.00 MM  YS=24.70 MM  ZF= 115 MM  XMOY=249.20 MM  DTMAX= .781 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0
DT/DTMAX=  .181  .371  .563  .793  .924 1.000  .969  .863  .633  .456  .286  .176

XF=247.80 MM  YS=24.70 MM  ZF= 155 MM  XMOY=249.40 MM  DTMAX= .598 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0 256.0
DT/DTMAX=  .105  .147  .231  .336  .506  .654  .804  .932  .996  .975  .911  .782  .633  .463  .315  .210
  XS(MM)= 257.0 258.0
DT/DTMAX=  .126  .084

XF=247.80 MM  YS=24.70 MM  ZF= 225 MM  XMOY=248.80 MM  DTMAX= .633 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0
DT/DTMAX=  .120  .220  .402  .645  .828  .992  .972  .808  .584  .361  .200  .100

XF=247.80 MM  YS=24.70 MM  ZF= 325 MM  XMOY=249.20 MM  DTMAX= .462 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 236.0 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 257.0 260.0 263.0
DT/DTMAX=  .144  .328  .575  .851  .990  .962  .796  .520  .301  .136

XF=247.80 MM  YS=24.70 MM  ZF= 425 MM  XMOY=249.40 MM  DTMAX= .368 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 234.0 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0 262.0 264.0
DT/DTMAX=  .215  .322  .429  .572  .678  .820  .926  .986  .997  .962  .856  .749  .607  .500  .358  .251
  XS(MM)= 266.0
DT/DTMAX=  .179

XF=247.80 MM  YS=24.70 MM  ZF= 425 MM  XMOY=248.80 MM  DTMAX= .818 OK          DFIL=1.00 MM
  XS(MM)= 232.0 234.0 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0 262.0
DT/DTMAX=  .145  .241  .385  .496  .623  .733  .859  .953 1.000  .984  .937  .828  .718  .607  .480  .385
  XS(MM)= 264.0 266.0 268.0
DT/DTMAX=  .257  .161  .097
```

Tableau 38

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

```
XF=247.40 MM  YS=24.70 MM  ZF= 525 MM  XMOY=249.60 MM  DTMAX= .585 OK          DFIL=1.00 MM
  XS(MM)= 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0
DT/DTMAX=  .116  .284  .481  .672  .881  .995  .976  .825  .615  .405  .213  .081

XF=247.50 MM  YS=24.70 MM  ZF= 625 MM  XMOY=249.80 MM  DTMAX= .554 OK          DFIL=1.00 MM
  XS(MM)= 224.0 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX=  .082  .163  .346  .549  .750  .931  .996  .991  .911  .730  .529  .326  .184  .102

XF=247.00 MM  YS=24.70 MM  ZF= 825 MM  XMOY=251.10 MM  DTMAX= .446 OK          DFIL=1.00 MM
  XS(MM)= 224.0 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX=  .160  .266  .425  .610  .768  .900  .978 1.004  .952  .847  .689  .506  .346  .213

XF=248.30 MM  YS=14.70 MM  ZF=  35 MM  XMOY=248.13 MM  DTMAX=1.240 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0
DT/DTMAX=  .192  .326  .536  .761  .900 1.000  .985  .821  .656  .402  .277  .134

XF=248.00 MM  YS=14.70 MM  ZF=  55 MM  XMOY=248.72 MM  DTMAX= .917 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 245.0 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0 251.5 252.0 252.5
DT/DTMAX=  .191  .294  .404  .550  .715  .863  .973  .989  .997  .966  .855  .700  .553  .397  .300  .211

XF=248.00 MM  YS=14.70 MM  ZF= 115 MM  XMOY=249.06 MM  DTMAX= .628 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0 256.0
DT/DTMAX=  .262  .388  .511  .714  .847  .965 1.000  .968  .864  .717  .551  .404  .279  .172

XF=247.80 MM  YS=14.70 MM  ZF= 155 MM  XMOY=249.38 MM  DTMAX= .530 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0 256.0
DT/DTMAX=  .118  .237  .332  .475  .618  .738  .858  .955 1.003  .979  .931  .834  .714  .571  .427  .308
  XS(MM)= 257.0 258.0 259.0
DT/DTMAX=  .213  .142  .095

XF=247.80 MM  YS=14.70 MM  ZF= 225 MM  XMOY=249.20 MM  DTMAX= .579 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0 262.0
DT/DTMAX=  .087  .175  .307  .461  .705  .883  .990  .995  .906  .727  .506  .329  .197  .109
```

Tableau 39

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=247.80 MM YS=14.70 MM ZF= 325 MM XMOY=249.75 MM DTMAX= .448 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 233.0 236.0 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 257.0 260.0 263.0 266.0
DT/DTMAX= .112 .197 .366 .565 .792 .964 .992 .821 .593 .395 .225 .141

XF=247.80 MM YS=14.70 MM ZF= 425 MM XMOY=249.75 MM DTMAX= .549 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 230.0 232.0 234.0 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0
DT/DTMAX= .120 .178 .279 .407 .526 .645 .763 .857 .952 .993 .999 .975 .905 .810 .692 .597
XS(MM)= 262.0 264.0 266.0 268.0
DT/DTMAX= .478 .335 .264 .192

XF=247.40 MM YS=14.70 MM ZF= 525 MM XMOY=249.70 MM DTMAX= .430 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0
DT/DTMAX= .126 .326 .526 .749 .923 .997 .992 .898 .700 .501 .301 .101

XF=247.50 MM YS=14.70 MM ZF= 625 MM XMOY=250.30 MM DTMAX= .453 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 224.0 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX= .102 .184 .340 .549 .756 .911 .989 .999 .937 .782 .575 .366 .210 .105

XF=247.00 MM YS=14.70 MM ZF= 825 MM XMOY=250.50 MM DTMAX= .363 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 224.0 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX= .173 .310 .481 .652 .857 .959 .993 .998 .974 .882 .686 .515 .378 .241

XF=247.00 MM YS=14.70 MM ZF= 825 MM XMOY=249.40 MM DTMAX= .215 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 224.0 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX= .175 .291 .465 .612 .796 .917 .996 .986 .870 .754 .581 .407 .233 .116

XF=248.30 MM YS= 4.70 MM ZF= 35 MM XMOY=248.44 MM DTMAX=1.670 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.5 245.0 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0 251.5 252.0
DT/DTMAX= .115 .202 .298 .414 .596 .756 .897 .969 .998 .962 .863 .709 .539 .380 .264 .172
XS(MM)= 252.5
DT/DTMAX= .101

XF=248.00 MM YS= 4.70 MM ZF= 55 MM XMOY=248.88 MM DTMAX= .582 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0
DT/DTMAX= .207 .359 .579 .792 .957 .995 .914 .753 .535 .315

Tableau 40

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=248.00 MM YS= 4.70 MM ZF= 115 MM XMOY=249.12 MM DTMAX= .520 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0 256.0
DT/DTMAX= .140 .233 .350 .490 .632 .773 .891 .962 .996 .986 .915 .797 .655 .537 .420 .303
XS(MM)= 257.0 258.0
DT/DTMAX= .186 .116

XF=247.80 MM YS= 4.70 MM ZF= 155 MM XMOY=249.20 MM DTMAX= .396 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0
DT/DTMAX= .095 .253 .444 .636 .828 .956 .988 .860 .668 .476 .285 .127

XF=247.80 MM YS= 4.70 MM ZF= 225 MM XMOY=249.40 MM DTMAX= .371 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0 262.0 264.0
DT/DTMAX= .171 .308 .445 .617 .789 .927 .991 .997 .962 .858 .686 .514 .342 .205 .137

XF=247.80 MM YS= 4.70 MM ZF= 325 MM XMOY=250.00 MM DTMAX= .318 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 233.0 236.0 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 257.0 260.0 263.0 266.0 269.0
DT/DTMAX= .158 .278 .476 .676 .876 .980 .996 .916 .756 .516 .317 .198 .119

XF=247.80 MM YS= 4.70 MM ZF= 425 MM XMOY=249.00 MM DTMAX= .252 0K DFIL=1.00 MM
XS(MM)= 230.0 234.0 238.0 242.0 246.0 250.0 254.0 258.0 262.0 266.0
DT/DTMAX= .157 .366 .575 .783 .969 .990 .887 .679 .470 .262

XF=247.00 MM YS= 4.70 MM ZF= 825 MM XMOY=250.80 MM DTMAX= .159 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX= .299 .448 .598 .747 .895 .970 .999 .909 .821 .672 .523 .374 .224

XF=248.30 MM YS= 1.70 MM ZF= 35 MM XMOY=248.44 MM DTMAX=1.734 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.5 245.0 245.5 246.0 246.5 247.0 247.5 248.0 248.5 249.0 249.5 250.0 250.5 251.0 251.5 252.0
DT/DTMAX= .137 .230 .340 .480 .614 .765 .885 .984 .999 .966 .852 .723 .556 .410 .278 .182
XS(MM)= 252.5
DT/DTMAX= .112

XF=248.00 MM YS= 1.70 MM ZF= 55 MM XMOY=248.56 MM DTMAX= .377 0K DFIL= .30 MM
XS(MM)= 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0
DT/DTMAX= .314 .539 .758 .912 .994 1.028 .933 .731 .543 .332

Tableau 41

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

```
XF=248.00 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 115 MM  XMOY=249.12 MM  DTMAX= .372 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 241.0 242.0 243.0 244.0 245.0 246.0 247.0 248.0 249.0 250.0 251.0 252.0 253.0 254.0 255.0 256.0
DT/DTMAX=  .163  .293  .424  .554  .686  .817  .916  .982  .999  .983  .935  .850  .718  .587  .456  .326
  XS(MM)= 257.0 258.0
DT/DTMAX=  .195  .097

XF=247.80 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 155 MM  XMOY=249.30 MM  DTMAX= .319 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0
DT/DTMAX=  .118  .236  .433  .631  .829  .977  .988  .868  .670  .472  .275  .157

XF=247.80 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 225 MM  XMOY=249.30 MM  DTMAX= .294 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 236.0 238.0 240.0 242.0 244.0 246.0 248.0 250.0 252.0 254.0 256.0 258.0 260.0 262.0 264.0
DT/DTMAX=  .142  .259  .431  .605  .778  .909  .991  .996  .952  .822  .648  .475  .302  .172  .086

XF=247.80 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 325 MM  XMOY=250.20 MM  DTMAX= .291 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 233.0 236.0 239.0 242.0 245.0 248.0 251.0 254.0 257.0 260.0 263.0 266.0 269.0
DT/DTMAX=  .130  .260  .434  .651  .826  .957 1.001  .913  .739  .521  .347  .173  .087

XF=247.80 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 425 MM  XMOY=249.30 MM  DTMAX= .214 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0
DT/DTMAX=  .247  .431  .677  .922 1.005  .983  .861  .554  .370  .185

XF=247.80 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 425 MM  XMOY=249.00 MM  DTMAX= .162 OK          DFIL=1.00 MM
  XS(MM)= 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0
DT/DTMAX=  .326  .488  .732  .894 1.002  .975  .813  .569  .407  .244

XF=247.00 MM  YS= 1.70 MM  ZF= 825 MM  XMOY=250.90 MM  DTMAX= .145 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 228.0 232.0 236.0 240.0 244.0 248.0 252.0 256.0 260.0 264.0 268.0 272.0 276.0
DT/DTMAX=  .246  .410  .573  .737  .900  .982  .992  .923  .819  .655  .492  .328  .164
```

Tableau 42

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

```
XF=406.70 MM  YS=24.70 MM  ZF=  18 MM  XMOY=405.58 MM  DTMAX=1.423 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 403.5 403.7 404.0 404.2 404.5 404.7 405.0 405.2 405.5 405.7 406.0 406.3 406.5 406.7 407.0 407.2
DT/DTMAX=  .056  .139  .230  .367  .512  .682  .824  .939 1.000  .982  .912  .789  .629  .467  .322  .185
  XS(MM)= 407.5
DT/DTMAX=  .102

XF=406.70 MM  YS=24.70 MM  ZF=  38 MM  XMOY=406.05 MM  DTMAX=1.000 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0
DT/DTMAX=  .119  .237  .380  .574  .754  .920  .996  .958  .805  .613  .432  .250  .132

XF=406.65 MM  YS=24.70 MM  ZF=  78 MM  XMOY=406.21 MM  DTMAX=1.270 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0
DT/DTMAX=  .059  .128  .255  .467  .668  .895  .998  .952  .773  .554  .332  .177  .079

XF=406.65 MM  YS=24.70 MM  ZF= 118 MM  XMOY=406.30 MM  DTMAX=1.035 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 398.0 399.0 400.0 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0
DT/DTMAX=  .076  .127  .216  .342  .492  .654  .815  .938  .999  .987  .901  .778  .592  .430  .266  .153
  XS(MM)= 414.0
DT/DTMAX=  .089

XF=406.60 MM  YS=24.70 MM  ZF= 158 MM  XMOY=406.50 MM  DTMAX= .744 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 396.0 398.0 400.0 402.0 404.0 406.0 408.0 410.0 412.0 414.0 416.0
DT/DTMAX=  .102  .201  .385  .617  .847  .994  .962  .749  .484  .251  .101

XF=406.60 MM  YS=24.70 MM  ZF= 188 MM  XMOY=405.82 MM  DTMAX= .720 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0
DT/DTMAX=  .146  .256  .419  .636  .833  .994  .976  .815  .600  .383  .219  .092

XF=406.55 MM  YS=24.70 MM  ZF= 228 MM  XMOY=406.30 MM  DTMAX= .616 OK          DFIL= .30 MM
  XS(MM)= 393.0 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX=  .128  .214  .341  .511  .701  .848  .974  .995  .911  .743  .553  .384  .235  .107  .064
```

Tableau 43

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.55 MM YS=24.70 MM ZF= 278 MM XMOY=406.45 MM DTMAX= .420 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	392.0	394.0	396.0	398.0	400.0	402.0	404.0	406.0	408.0	410.0	412.0	414.0	416.0	418.0	420.0	422.0	424.0
DT/DTMAX=	.157	.251	.376	.532	.688	.843	.936	.987	.997	.905	.750	.594	.438	.282	.188	.094	.031

XF=406.50 MM YS=24.70 MM ZF= 378 MM XMOY=406.60 MM DTMAX= .311 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	386.0	390.0	394.0	398.0	402.0	406.0	410.0	414.0	418.0	422.0	426.0
DT/DTMAX=	.080	.241	.442	.641	.881	1.000	.920	.721	.482	.281	.121

XF=406.45 MM YS=24.70 MM ZF= 428 MM XMOY=406.80 MM DTMAX= .291 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	384.0	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0
DT/DTMAX=	.126	.233	.419	.604	.789	.982	.974	.882	.650	.465	.279	.093

XF=406.40 MM YS=24.70 MM ZF= 528 MM XMOY=407.00 MM DTMAX= .243 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	384.0	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0
DT/DTMAX=	.163	.271	.434	.616	.812	1.000	.973	.850	.704	.542	.326	.217	.109

XF=406.30 MM YS=24.70 MM ZF= 638 MM XMOY=407.20 MM DTMAX= .198 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	382.0	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0
DT/DTMAX=	.190	.352	.568	.819	.945	.958	.996	.815	.599	.360	.211

XF=406.25 MM YS=24.70 MM ZF= 728 MM XMOY=407.60 MM DTMAX= .218 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	377.0	382.0	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0	437.0
DT/DTMAX=	.115	.229	.344	.516	.744	.915	1.025	.924	.801	.573	.401	.271	.136

XF=406.20 MM YS=24.70 MM ZF= 828 MM XMOY=408.30 MM DTMAX= .175 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	377.0	382.0	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0	437.0
DT/DTMAX=	.143	.250	.429	.571	.749	.927	.998	.962	.820	.678	.500	.286	.107

XF=406.70 MM YS=14.70 MM ZF= 18 MM XMOY-405.95 MM DTMAX=1.473 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	403.5	404.0	404.5	405.0	405.5	406.0	406.5	407.0	407.5	408.0
DT/DTMAX=	.063	.161	.363	.642	.907	1.000	.864	.590	.311	.125

XF=406.70 MM YS=14.70 MM ZF= 38 MM XMOY=406.60 MM DTMAX=1.033 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	403.0	403.5	404.0	404.5	405.0	405.5	406.0	406.5	407.0	407.5	408.0	408.5	409.0	409.5	410.0
DT/DTMAX=	.089	.166	.292	.456	.618	.792	.940	.989	.976	.866	.693	.518	.355	.216	.102

Tableau 44

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.65 MM YS=14.70 MM ZF= 78 MM XMOY=406.86 MM DTMAX=1.281 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	400.0	401.0	402.0	403.0	404.0	405.0	406.0	407.0	408.0	409.0	410.0	411.0	412.0	413.0	414.0
DT/DTMAX=	.068	.136	.252	.397	.606	.813	.953	.990	.925	.775	.549	.358	.214	.117	.049

XF=406.65 MM YS=14.70 MM ZF= 118 MM XMOY=407.00 MM DTMAX=1.025 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	398.0	400.0	402.0	404.0	406.0	408.0	410.0	412.0	414.0	416.0
DT/DTMAX=	.090	.218	.459	.748	.972	.969	.736	.421	.205	.077

XF=406.60 MM YS=14.70 MM ZF= 158 MM XMOY=407.60 MM DTMAX= .753 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	396.0	398.0	400.0	402.0	404.0	406.0	408.0	410.0	412.0	414.0	416.0	418.0	420.0
DT/DTMAX=	.083	.166	.314	.544	.788	.956	.998	.902	.707	.429	.248	.133	.050

XF=406.60 MM YS=14.70 MM ZF= 188 MM XMOY=406.90 MM DTMAX= .708 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	395.0	397.0	399.0	401.0	403.0	405.0	407.0	409.0	411.0	413.0	415.0	417.0	419.0
DT/DTMAX=	.130	.223	.389	.555	.774	.956	.993	.938	.756	.537	.353	.205	.112

XF=406.55 MM YS=14.70 MM ZF= 228 MM XMOY=407.35 MM DTMAX= .460 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	393.0	395.0	397.0	399.0	401.0	403.0	405.0	407.0	409.0	411.0	413.0	415.0	417.0	419.0	421.0
DT/DTMAX=	.082	.190	.326	.488	.649	.810	.944	.998	.971	.864	.703	.542	.380	.217	.109

XF=406.55 MM YS=14.70 MM ZF= 278 MM XMOY=407.60 MM DTMAX= .426 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0
DT/DTMAX=	.139	.334	.611	.887	.997	.832	.528	.279	.112

XF=406.50 MM YS=14.70 MM ZF= 378 MM XMOY=408.20 MM DTMAX= .322 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	386.0	390.0	394.0	398.0	402.0	406.0	410.0	414.0	418.0	422.0	426.0
DT/DTMAX=	.074	.185	.369	.589	.845	.955	.991	.882	.626	.405	.148

XF=406.45 MM YS=14.70 MM ZF= 428 MM XMOY=408.40 MM DTMAX= .333 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	384.0	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0	432.0
DT/DTMAX=	.079	.158	.317	.514	.710	.917	.999	.906	.750	.553	.356	.198	.089

XF=406.40 MM YS=14.70 MM ZF= 528 MM XMOY=408.90 MM DTMAX= .279 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	384.0	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0	432.0
DT/DTMAX=	.146	.243	.388	.582	.775	.919	.995	.941	.871	.678	.485	.291	.194

Tableau 45

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.30 MM YS=14.70 MM ZF= 638 MM XMOY=408.90 MM DTMAX= .200 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 382.0 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0
DT/DTMAX= .198 .330 .527 .724 .921 .997 .882 .855 .658 .461 .238

XF=406.25 MM YS=14.70 MM ZF= 728 MM XMOY=409.20 MM DTMAX= .249 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 377.0 382.0 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0 437.0
DT/DTMAX= .096 .212 .370 .524 .740 .897 1.002 .904 .809 .667 .477 .334 .191

XF=406.20 MM YS=14.70 MM ZF= 828 MM XMOY=410.30 MM DTMAX= .193 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 377.0 382.0 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0 437.0 442.0
DT/DTMAX= .133 .266 .399 .532 .730 .863 .969 .995 .929 .771 .598 .401 .297 .149

XF=406.70 MM YS= 4.70 MM ZF= 18 MM XMOY=406.63 MM DTMAX=1.237 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0
DT/DTMAX= .085 .202 .412 .682 .918 .999 .968 .826 .527 .297 .149

XF=406.70 MM YS= 4.70 MM ZF= 38 MM XMOY=407.57 MM DTMAX= .844 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 403.0 403.5 404.0 404.5 405.0 405.5 406.0 406.5 407.0 407.5 408.0 408.5 409.0 409.5 410.0 410.5
DT/DTMAX= .078 .125 .187 .311 .419 .604 .741 .878 .969 .999 .984 .924 .787 .650 .512 .358
xS(MM)= 411.0 411.5 412.0
DT/DTMAX= .234 .156 .094

XF=406.65 MM YS= 4.70 MM ZF= 78 MM XMOY=408.37 MM DTMAX= .985 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 401.0 402.0 403.0 404.0 405.0 406.0 407.0 408.0 409.0 410.0 411.0 412.0 413.0 414.0 415.0 416.0
DT/DTMAX= .101 .177 .291 .453 .615 .788 .923 .996 .984 .898 .751 .578 .403 .265 .165 .089

XF=406.65 MM YS= 4.70 MM ZF= 118 MM XMOY=408.50 MM DTMAX= .757 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0
DT/DTMAX= .122 .278 .536 .775 .962 .996 .877 .639 .399 .191 .087

XF=406.60 MM YS= 4.70 MM ZF= 158 MM XMOY=409.25 MM DTMAX= .533 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 396.0 398.0 400.0 402.0 404.0 406.0 408.0 410.0 412.0 414.0 416.0 418.0 420.0 422.0
DT/DTMAX= .067 .156 .267 .444 .643 .862 .972 .994 .906 .709 .488 .311 .178 .089

XF=406.60 MM YS= 4.70 MM ZF= 188 MM XMOY=408.70 MM DTMAX= .471 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0
DT/DTMAX= .112 .196 .283 .474 .668 .834 .972 .999 .917 .779 .585 .419 .280 .168

Tableau 46

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.55 MM YS= 4.70 MM ZF= 228 MM XMOY=409.60 MM DTMAX= .384 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 395.0 397.0 399.0 401.0 403.0 405.0 407.0 409.0 411.0 413.0 415.0 417.0 419.0 421.0 423.0 425.0
DT/DTMAX= .130 .228 .325 .487 .649 .810 .938 1.003 .971 .906 .745 .584 .422 .293 .195 .098

XF=406.55 MM YS= 4.70 MM ZF= 278 MM XMOY=410.15 MM DTMAX= .360 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 392.0 396.0 400.0 404.0 408.0 412.0 416.0 420.0 424.0 428.0
DT/DTMAX= .099 .231 .461 .756 .961 .984 .789 .494 .264 .110

XF=406.50 MM YS= 4.70 MM ZF= 378 MM XMOY=411.45 MM DTMAX= .330 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 390.0 394.0 398.0 402.0 406.0 410.0 414.0 418.0 422.0 426.0 430.0
DT/DTMAX= .080 .200 .399 .637 .875 .994 .965 .796 .558 .359 .160

XF=406.45 MM YS= 4.70 MM ZF= 428 MM XMOY=411.40 MM DTMAX= .287 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 388.0 392.0 396.0 400.0 404.0 408.0 412.0 416.0 420.0 424.0 428.0 432.0
DT/DTMAX= .131 .218 .392 .609 .782 .954 .997 .911 .738 .522 .305 .174

XF=406.40 MM YS= 4.70 MM ZF= 528 MM XMOY=412.50 MM DTMAX= .231 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 384.0 388.0 392.0 396.0 400.0 404.0 408.0 412.0 416.0 420.0 424.0 428.0 432.0 436.0 440.0
DT/DTMAX= .054 .162 .271 .433 .595 .756 .917 1.022 .947 .810 .648 .487 .325 .217 .108

XF=406.30 MM YS= 4.70 MM ZF= 638 MM XMOY=413.00 MM DTMAX= .208 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0 437.0
DT/DTMAX= .163 .335 .536 .736 .840 .948 .992 .803 .603 .402 .213

XF=406.25 MM YS= 4.70 MM ZF= 728 MM XMOY=414.20 MM DTMAX= .258 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 377.0 382.0 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0 437.0 442.0
DT/DTMAX= .051 .102 .204 .358 .510 .714 .866 .917 .869 .914 .743 .515 .344 .195

XF=406.20 MM YS= 4.70 MM ZF= 828 MM XMOY=414.40 MM DTMAX= .195 OK DFIL= .30 MM
xS(MM)= 382.0 387.0 392.0 397.0 402.0 407.0 412.0 417.0 422.0 427.0 432.0 437.0 442.0
DT/DTMAX= .135 .271 .406 .606 .743 .832 .998 .944 .877 .638 .522 .385 .257

Tableau 47

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.70 MM YS= 1.70 MM ZF= 18 MM XMOY=406.93 MM DTMAX= .895 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	404.0	404.5	405.0	405.5	406.0	406.5	407.0	407.5	408.0	408.5	409.0	409.5
DT/DTMAX=	.074	.147	.293	.526	.757	.957	.999	.914	.685	.454	.250	.118

XF=406.70 MM YS= 1.70 MM ZF= 38 MM XMOY=407.96 MM DTMAX= .654 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	403.5	404.0	404.5	405.0	405.5	406.0	406.5	407.0	407.5	408.0	408.5	409.0	409.5	410.0	410.5	411.0
DT/DTMAX=	.081	.141	.221	.362	.481	.621	.759	.878	.976	.996	.957	.858	.740	.621	.461	.322
XS(MM)=	411.5	412.0														
DT/DTMAX=	.201	.121														

XF=406.65 MM YS= 1.70 MM ZF= 78 MM XMOY=408.80 MM DTMAX= .643 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	401.0	402.0	403.0	404.0	405.0	406.0	407.0	408.0	409.0	410.0	411.0	412.0	413.0	414.0	415.0	416.0
DT/DTMAX=	.097	.155	.252	.387	.541	.714	.866	.961	.999	.942	.809	.618	.464	.310	.194	.117

XF=406.65 MM YS= 1.70 MM ZF= 118 MM XMOY=409.15 MM DTMAX= .562 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	399.0	401.0	403.0	405.0	407.0	409.0	411.0	413.0	415.0	417.0	419.0
DT/DTMAX=	.094	.211	.421	.676	.907	.999	.930	.699	.444	.234	.117

XF=406.60 MM YS= 1.70 MM ZF= 158 MM XMOY=409.80 MM DTMAX= .390 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	396.0	398.0	400.0	402.0	404.0	406.0	408.0	410.0	412.0	414.0	416.0	418.0	420.0	422.0
DT/DTMAX=	.061	.122	.244	.395	.607	.818	.969	.999	.939	.758	.577	.365	.213	.091

XF=406.60 MM YS= 1.70 MM ZF= 188 MM XMOY=409.68 MM DTMAX= .456 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	395.0	397.0	399.0	401.0	403.0	405.0	407.0	409.0	411.0	413.0	415.0	417.0	419.0	421.0	423.0
DT/DTMAX=	.087	.145	.231	.404	.605	.776	.947	1.004	.976	.890	.719	.519	.346	.202	.116

XF=406.55 MM YS= 1.70 MM ZF= 228 MM XMOY=410.30 MM DTMAX= .301 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	397.0	399.0	401.0	403.0	405.0	407.0	409.0	411.0	413.0	415.0	417.0	419.0	421.0	423.0	425.0
DT/DTMAX=	.208	.276	.434	.591	.708	.865	.982	.992	.904	.748	.630	.473	.316	.188	.119

XF=406.55 MM YS= 1.70 MM ZF= 278 MM XMOY=410.50 MM DTMAX= .301 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0
DT/DTMAX=	.040	.197	.434	.708	.943	.982	.787	.512	.237	.079

Tableau 48

DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XF=406.50 MM YS= 1.70 MM ZF= 378 MM XMOY=411.80 MM DTMAX= .243 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	390.0	394.0	398.0	402.0	406.0	410.0	414.0	418.0	422.0	426.0	430.0	434.0
DT/DTMAX=	.093	.186	.372	.604	.836	.984	.975	.790	.558	.326	.217	.103

XF=406.45 MM YS= 1.70 MM ZF= 428 MM XMOY=412.20 MM DTMAX= .244 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0	432.0	436.0
DT/DTMAX=	.105	.210	.368	.578	.787	.944	.996	.969	.831	.610	.400	.242	.121

XF=406.40 MM YS= 1.70 MM ZF= 528 MM XMOY=413.00 MM DTMAX= .207 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	388.0	392.0	396.0	400.0	404.0	408.0	412.0	416.0	420.0	424.0	428.0	432.0	436.0	440.0
DT/DTMAX=	.102	.248	.372	.558	.743	.914	.989	.979	.804	.619	.496	.310	.186	.124

XF=406.30 MM YS= 1.70 MM ZF= 638 MM XMOY=414.20 MM DTMAX= .178 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0	437.0	442.0
DT/DTMAX=	.152	.305	.498	.685	.912	.988	.961	.841	.632	.530	.254	.121

XF=406.25 MM YS= 1.70 MM ZF= 728 MM XMOY=415.60 MM DTMAX= .197 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0	437.0	442.0	447.0
DT/DTMAX=	.172	.345	.517	.688	.860	.974	.998	.917	.746	.574	.402	.230	.115

XF=406.20 MM YS= 1.70 MM ZF= 828 MM XMOY=415.10 MM DTMAX= .198 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	382.0	387.0	392.0	397.0	402.0	407.0	412.0	417.0	422.0	427.0	432.0	437.0	442.0	447.0
DT/DTMAX=	.114	.224	.373	.547	.676	.864	1.012	.956	.888	.752	.579	.411	.274	.137

Tableau 49

DIFFUSION PERPENDICULAIREMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XS=247.00 MM YF=20.19 MM ZF= 20 MM YMOY= 20.19 MM DTMAX=6.058 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
DT/DTMAX=	.043	.15[illegible]	.462	.806	.997	.971	.734	.384	.108

XS=247.00 MM YF=20.12 MM ZF= 40 MM YMOY= 20.12 MM DTMAX=4.183 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0
DT/DTMAX=	.078	.156	.337	.528	.740	.904	.997	.971	.836	.628	.426	.232	.109

XS=247.00 MM YF=20.18 MM ZF= 60 MM YMOY= 20.18 MM DTMAX=3.198 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	16.0	17.[illegible]	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
DT/DTMAX=	.082	.204	.461	.765	.986	.931	.671	.363	.163	.062

XS=247.00 MM YF=20.12 MM ZF= 80 MM YMOY= 20.12 MM DTMAX=2.339 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	16.0	17.[illegible]	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
DT/DTMAX=	.168	.388	.683	.918	.995	.969	.814	.523	.251	.112

XS=247.00 MM YF=20.20 MM ZF= 100 MM YMOY= 20.20 MM DTMAX=2.044 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	15.0	16.[illegible]	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
DT/DTMAX=	.187	.31[illegible]	.493	.719	.907	.994	.971	.820	.589	.359	.218

XS=247.00 MM YF=20.30 MM ZF= 140 MM YMOY= 20.30 MM DTMAX=1.671 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	13.0	14.	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0
DT/DTMAX=	.110	.204	.344	.497	.657	.807	.933	.993	.970	.889	.740	.581	.421	.282	.157	.079

XS=247.00 MM YF=20.20 MM ZF= 180 MM YMOY= 20.20 MM DTMAX=1.410 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	10.0	12.	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0
DT/DTMAX=	.079	.207	.469	.727	.934	.991	.953	.784	.507	.255	.099

Tableau 50

DIFFUSION PERPENDICULAIREMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=91.85 MM
RE=180000 W=21.25 M/S

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 20 MM YMOY=101.08 MM DTMAX=6.034 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	98.5	99.[illegible]	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5	102.0	102.5	103.0	103.5
DT/DTMAX=	.069	.181	.417	.680	.900	.998	.955	.757	.500	.225	.096

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 40 MM YMOY=100.73 MM DTMAX=3.697 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5	102.0	102.5	103.0	103.5	104.0
DT/DTMAX=	.324	.495	.667	.849	.948	.997	.990	.941	.816	.647	.474	.310	.194

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 60 MM YMOY=100.60 MM DTMAX=2.992 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	96.0	96.5	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5	102.0	102.5	103.0	103.5
DT/DTMAX=	.147	.215	.315	.429	.550	.665	.778	.877	.956	.996	.978	.912	.819	.710	.596	.480
XS(MM)=	104.0	104.5	105.0													
DT/DTMAX=	.358	.244	.166													

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 80 MM YMOY=100.08 MM DTMAX=2.436 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0
DT/DTMAX=	.405	.602	.806	.945	1.000	.961	.834	.647	.428	.258	.157

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 100 MM YMOY=100.70 MM DTMAX=1.935 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0	107.0	
DT/DTMAX=	.384	.583	.779	.915	.986	.993	.958	.851	.671	.466	.280	.175	

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 140 MM YMOY= 99.50 MM DTMAX=1.729 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0	107.0	108.0	109.0
DT/DTMAX=	.815	.904	.976	1.000	.992	.968	.912	.807	.653	.496	.313	.221	.153	.102

XS=247.00 MM YF=*1.00 MM ZF= 180 MM YMOY= 99.65 MM DTMAX=1.563 0K DFIL= .30 MM

XS(MM)=	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0	101.0	102.0	103.0	104.0	105.0	106.0	107.0	108.0	109.0	110.0
DT/DTMAX=	.803	.902	.947	.991	1.000	.973	.911	.830	.749	.640	.540	.421	.300	.216	.151

Tableau 51

DIFFUSION PERPENDICULAIREMENT AUX ISOVITESSES

COURBE DE DIFFUSION - TEMPERATURES
VENTURI D=200.0 MM
RE=810000 W=107.8 M/S

XS=247.00 MM YF=16.94 MM ZF= 20 MM YMOY= 18.94 MM DTMAX=1.949 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.5	18.7	19.0	19.2	19.5	19.7	20.0	20.2	20.5	20.7
DT/DTMAX=	.115	.229	.411	.577	.748	.898	.987	.999	.957	.820	.663	.479	.311	.160	.077

XS=247.00 MM YF=18.10 MM ZF= 40 MM YMOY= 18.10 MM DTMAX=1.330 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0
DT/DTMAX=	.103	.252	.446	.675	.891	.998	.963	.765	.538	.317	.150	.047

XS=247.00 MM YF=19.26 MM ZF= 60 MM YMOY= 19.26 MM DTMAX=1.017 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0
DT/DTMAX=	.135	.233	.378	.535	.727	.870	.976	.988	.882	.715	.559	.391	.226	.123	.061

XS=247.00 MM YF=18.04 MM ZF= 80 MM YMOY= 18.04 MM DTMAX= .849 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0
DT/DTMAX=	.147	.3[illegible]	.598	.857	1.000	.896	.613	.323	.142

XS=247.00 MM YF=19.28 MM ZF= 100 MM YMOY= 19.28 MM DTMAX= .691 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
DT/DTMAX=	.145	.199	.271	.396	.521	.643	.753	.859	.947	.982	1.000	.965	.894	.788	.646	.539
XS(MM)=	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5											
DT/DTMAX=	.432	.317	.217	.163	.072											

XS=247.00 MM YF=18.19 MM ZF= 140 MM YMOY= 18.19 MM DTMAX= .523 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
DT/DTMAX=	.047	.14[illegible]	.256	.395	.580	.787	.947	.993	.970	.856	.672	.465	.303	.163	.070

XS=247.00 MM YF=19.38 MM ZF= 180 MM YMOY= 19.38 MM DTMAX= .442 OK DFIL= .30 MM

XS(MM)=	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0
DT/DTMAX=	.025	.17	.255	.367	.508	.676	.788	.928	.994	.983	.900	.760	.620	.480	.339	.226
XS(MM)=	27.0	28.														
DT/DTMAX=	.142	.057														

Tableau 52

DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES

RE=180000 XF=248.00 YS= 25.60
A= 2.80E-02 B= 1.86E-08(M) C= 3.16E-04(M) D=-5.14E-05(M2) ZL=162.87(MM)
Y/YD=1.0175 L=201.49(MM) 100.L/F/YD= 3.864 FLUCV= .604(M/S)
LAMTUR= 3.999(MKSA) LAMTUR/LAM=155.01 A.L/2.YD= .224

ZF=	35.00	55.00	95.00	135.00	175.00	225.00	225.00	325.00	425.00	525.00	625.00	725.00	825.00
X2T=	1.73	3.41	7.59	13.90	21.22	33.04	32.34	56.34	87.63	117.93	150.73	183.52	215.82
X/Z=	.99	1.56	2.61	3.78	4.91	6.45	6.38	9.15	12.24	15.09	18.03	20.93	23.77
X20=	.92	2.24	5.84	11.58	18.43	29.67	29.01	52.23	82.84	112.69	145.12	177.65	209.74
Z+=	.174	.273	.471	.670	.869	1.117	1.117	1.613	2.109	2.606	3.102	3.598	4.095
X2+=	.014	.035	.092	.182	.290	.447	.456	.822	1.303	1.772	2.283	2.794	3.299

RE=180000 XF=248.00 YS= 15.60
A= 3.35E-02 B= 1.87E-08(M) C= 3.23E-04(M) D=-4.21E-05(M2) ZL=130.44(MM)
Y/YD= .6200 L=144.[illegible]5(MM) 100.L/F/YD= 2.762 FLUCV= .688(M/S)
LAMTUR= 3.9[illegible]1(MKSA) LAMTUR/LAM=151.21 A.L/2.YD= .192

ZF=	35.00	55.00	95.00	135.00	175.00	225.00	325.00	425.00	525.00	625.00	725.00	825.00	
X2T=	2.44	4.38	10.26	19.66	26.58	40.02	68.49	100.29	132.88	165.66	200.71	230.24	
X/Z=	1.19	1.00	3.13	4.70	5.77	7.53	10.90	14.34	17.76	21.15	24.67	27.84	
X20=	1.31	2.85	7.93	16.52	23.05	35.86	63.47	94.66	126.82	159.30	194.09	223.49	
Z+=	.243	.382	.660	.937	1.215	1.562	2.256	2.950	3.645	4.339	5.033	5.727	
X2+=	.028	.061	.170	.355	.495	.771	1.364	2.034	2.725	3.423	4.170	4.802	

RE=180000 XF=248.00 YS= 5.60
A= 4.29E-02 B= 1.99E-08(M) C= 3.32E-04(M) D=-2.73E-05(M2) ZL= 82.39(MM)
Y/YD= .2226 L= 9[illegible].19(MM) 100.L/F/YD= 1.730 FLUCV= .766(M/S)
LAMTUR= 3.483(MKSA) LAMTUR/LAM=134.99 A.L/2.YD= .154

ZF=	35.00	55.00	95.00	135.00	175.00	225.00	325.00	425.00	525.00	625.00	725.00	825.00
X2T=	4.44	8.10	18.80	28.26	38.95	55.85	88.90	126.26	155.81	190.86	223.72	258.41
X/Z=	1.42	2.31	4.27	5.81	7.41	9.69	14.01	18.61	22.59	27.00	31.25	35.63
X20=	1.78	4.41	13.24	21.74	31.63	47.56	79.49	116.02	145.31	180.03	212.69	247.20
Z+=	.388	.610	1.053	1.497	1.940	2.495	3.603	4.712	5.821	6.930	8.038	9.147
X2+=	.059	.147	.442	.726	1.057	1.589	2.656	3.876	4.854	6.014	7.105	8.258

RE=180000 XF=248.00 YS= 2.60
A= 4.57E-02 B= 2.72E-08(M) C= 3.38E-04(M) D=-2.86E-05(M2) ZL= 84.73(MM)
Y/YD= .1033 L= 8[illegible].94(MM) 100.L/F/YD= 1.552 FLUCV= .732(M/S)
LAMTUR= 3.181(MKSA) LAMTUR/LAM=123.31 A.L/2.YD= .147

ZF=	35.00	55.00	95.00	135.00	175.00	225.00	325.00	425.00	525.00	625.00	725.00	825.00
X2T=	4.98	9.25	19.30	31.57	41.72	59.28	90.36	122.74	156.36	194.29	229.91	261.93
X/Z=	1.53	2.52	4.39	6.30	7.88	10.30	14.64	19.09	23.63	28.50	33.20	37.62
X20=	2.03	5.13	13.49	24.45	33.94	50.54	80.69	112.48	145.69	183.20	218.59	250.50
Z+=	.432	.679	1.174	1.668	2.162	2.780	4.015	5.251	6.486	7.721	8.957	10.192
X2+=	.074	.188	.493	.894	1.240	1.847	2.949	4.111	5.325	6.696	7.990	9.156

Tableau 53

```
        DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"
RE=180000      XF=407.00      YS= 25.60
A= 2.55E-02  B=-1.91E-08(M)  C= 4.00E-04(M)  D=-6.36E-05(M2)  ZL=158.96(MM)
Y/YD=1.0159  L=158.42(MM)  100.L.F/YD= 3.033  FLUCV=  .796(M/S)
LAMTUR= 5.264(MKSA)  LAMTUR/LAM=204.05  A.L/2.YD= .223
   ZF= 15.00  35.00  55.00  75.00 115.00 135.00 155.00 185.00 225.00 275.00 375.00 425.00 525.00 575.00
   ZF=635.3  725.00 825.00
  X2T=   .34   1.52   3.06   5.78  13.74  17.88  21.00  29.64  41.56  57.07  88.26 108.17 147.97 163.87
  X2T=190.75 225.58 268.88
  X/Z=   .58   1.26   1.92   2.58   4.14   4.81   5.31   6.48   7.94   9.69  12.99  14.89  18.58  20.14
  X/Z= 22.49  25.65  29.40
  X20=   .30   1.48   3.30   5.71  13.63  17.75  20.86  29.48  41.38  56.87  88.03 107.92 147.70 163.60
  X20=190.47 225.28 268.57
   Z+=  .095   .221   .347   .473   .726   .852   .978  1.168  1.420  1.736  2.367  2.683  3.314  3.629
   Z+= 4.017  4.576  5.208
  X2+=  .005   .023   .052   .090   .215   .280   .329   .465   .652   .897  1.388  1.702  2.329  2.579
  X2+= 3.003  3.552  4.235
RE=180000      XF=407.00      YS= 15.60
A= 2.85E-02  B= 1.64E-08(M)  C= 4.04E-04(M)  D=-5.29E-05(M2)  ZL=131.05(MM)
Y/YD= .6190  L=136.17(MM)  100.L.F/YD= 2.607  FLUCV=  .832(M/S)
LAMTUR= 5.123(MKSA)  LAMTUR/LAM=198.57  A.L/2.YD= .208
   ZF= 15.00  35.00  55.00  75.00 115.00 135.00 155.00 185.00 225.00 275.00 375.00 425.00 525.00 575.00
   ZF=635.3  725.00 825.00
  X2T=   .47   2.09   4.67   7.54  15.97  21.16  25.68  34.62  47.84  64.95 100.74 121.34 159.93 182.83
  X2T=205.71 242.64 282.82
  X/Z=   .55   1.36   2.16   2.85   4.41   5.21   5.88   7.06   8.65  10.58  14.35  16.38  20.19  22.30
  X/Z= 24.54  28.04  31.88
  X20=   .30   1.71   4.11   6.84  14.98  20.04  24.48  33.27  46.30  63.23  98.77 119.25 157.70 180.52
  X20=203.34 240.20 280.32
   Z+=  .110   .257   .404   .551   .845   .991  1.138  1.359  1.652  2.020  2.754  3.121  3.856  4.223
   Z+= 4.666  5.324  6.059
  X2+=  .005   .031   .075   .124   .272   .364   .445   .605   .842  1.149  1.795  2.168  2.867  3.281
  X2+= 3.696  4.366  5.096
```

Tableau 54

```
        DIFFUSION"PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"
RE=180000      XF=407.00      YS=  5.60
A= 4.88E-02  B=-1.10E-08(M)  C= 4.09E-04(M)  D=-4.02E-05(M2)  ZL= 98.41(MM)
Y/YD= .2222  L= 85.74(MM)  100.L.F/YD= 1.642  FLUCV=  .889(M/S)
LAMTUR= 4.368(MKSA)  LAMTUR/LAM=169.29  A.L/2.YD= .166
   ZF= 15.00  35.00  55.00  75.00 115.00 135.00 155.00 185.00 225.00 275.00 375.00 425.00 525.00 575.00
   ZF=635.3  725.00 825.00
  X2T=   .93   4.00   8.10  13.70  24.32  29.92  35.43  44.55  60.26  77.14 118.09 140.97 178.29 199.61
  X2T=225.47 263.25 303.21
  X/Z=   .59   1.73   2.74   3.83   5.62   6.48   7.31   8.62  10.65  12.88  17.85  20.49  25.13  27.63
  X/Z= 30.66  35.12  39.94
  X20=   .33   2.62   6.15  11.20  21.15  26.49  31.78  40.61  55.88  72.45 112.84 135.48 172.59 193.79
  X20=219.53 257.17 297.04
   Z+=  .175   .408   .641   .875  1.341  1.575  1.808  2.158  2.624  3.207  4.374  4.957  6.123  6.707
   Z+= 7.41   8.456  9.422
  X2+=  .009   .075   .175   .320   .603   .756   .907  1.159  1.594  2.067  3.220  3.866  4.924  5.529
  X2+= 6.263  7.338  8.475
RE=180000      XF=407.00      YS=  2.60
A= 4.87E-02  B= 1.37E-08(M)  C= 4.23E-04(M)  D=-4.59E-05(M2)  ZL=108.48(MM)
Y/YD= .1032  L= 89.11(MM)  100.L.F/YD= 1.706  FLUCV=  .789(M/S)
LAMTUR= 4.023(MKSA)  LAMTUR/LAM=155.93  A.L/2.YD= .172
   ZF= 15.00  35.00  55.00  75.00 115.00 135.00 155.00 185.00 225.00 275.00 375.00 425.00 525.00 575.00
   ZF=635.3  725.00 825.00
  X2T=  1.28   4.97   9.75  14.90  25.89  32.38  36.78  47.41  61.59  80.45 121.22 143.85 183.46 204.94
  X2T=231.78 268.43 314.76
  X/Z=   .54   1.75   2.82   3.78   5.56   6.50   7.18   8.61  10.45  12.80  17.64  20.20  24.90  27.36
  X/Z= 30.39  34.65  39.01
  X20=   .23   2.71   6.56  11.00  20.98  27.02  31.21  41.31  54.96  73.29 113.27 135.57 174.83 196.15
  X20=222.8  258.00 305.41
   Z+=  .168   .393   .617   .842  1.291  1.515  1.739  2.076  2.525  3.086  4.208  4.769  5.892  6.453
   Z+= 7.13   8.136  9.258
  X2+=  .007   .072   .174   .292   .556   .717   .828  1.096  1.458  1.944  3.005  3.596  4.638  5.204
  X2+= 5.911  6.868  8.[illegible]2
```

Tableau 55

```
        DIFFUSION PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES
RE=810000      XF=248.00      YS= 24.70
A= 2.46E-02  B= 3.68E-08(M)  C= 2.96E-04(M)  D=-5.31E-05(M2)  ZL=179.02(MM)
Y/YD=1.0090  L=245.32(MM)  100.L.F/YD= 3.264  FLUCV= 2.654(M/S)
LAMTUR=16.648(MKSA)  LAMTUR/LAM=635.40  A.L/2.YD= .247
   ZF= 35.00  55.00 115.00 155.00 225.00 325.00 425.00 425.00 525.00 625.00 825.00
  X2T=  1.54   2.76   8.89  14.13  26.40  48.85  78.75  79.08 105.04 138.01 198.54
  X/Z=   .88   1.34   2.83   3.77   5.54   8.15  11.03  11.06  13.46  16.23  21.28
  X2O=   .74   1.66   6.89  11.66  23.16  44.72  73.82  74.14  99.66 132.16 192.16
   Z+=  .142    .224    .468    .631    .915   1.322   1.729   1.729   2.136   2.543   3.356
  X2+=  .01    .023    .095    .160    .318    .614   1.013   1.018   1.368   1.814   2.638
RE=810000      XF=248.00      YS= 14.70
A= 2.14E-02  B= 2.08E-08(M)  C= 2.98E-04(M)  D=-3.98E-05(M2)  ZL=133.42(MM)
Y/YD= .6005  L=151.88(MM)  100.L.F/YD= 2.006  FLUCV= 3.250(M/S)
LAMTUR=16.026(MKSA)  LAMTUR/LAM=611.68  A.L/2.YD= .194
   ZF= 35.00  55.00 115.00 155.00 225.00 325.00 425.00 525.00 625.00 825.00
  X2T=  2.35   4.16  13.44  20.12  35.98  61.34  94.48 121.64 150.40 213.60
  X/Z=  1.06   1.73   3.70   4.83   7.05  10.17  13.72  16.71  19.80  26.30
  X2O=  1.03   2.67  10.81  17.01  32.06  56.63  89.06 115.91 144.40 207.19
   Z+=  .233    .364    .761   1.026   1.489   2.151   2.813   3.475   4.137   5.461
  X2+=  .023    .059    .240    .378    .712   1.258   1.978   2.575   3.208   4.602
RE=810000      XF=248.00      YS=  4.70
A= 4.03E-02  B= 3.19E-08(M)  C= 3.03E-04(M)  D=-2.47E-05(M2)  ZL= 81.47(MM)
Y/YD= .1920  L= 93.44(MM)  100.L.F/YD= 1.247  FLUCV= 3.658(M/S)
LAMTUR=14.311(MKSA)  LAMTUR/LAM=546.22  A.L/2.YD= .154
   ZF= 35.00  55.00 115.00 155.00 225.00 325.00 425.00 825.00
  X2T=  3.57   7.44  17.89  28.08  49.13  80.37 111.26 233.04
  X/Z=  1.38   2.38   4.49   6.15   9.17  13.35  17.41  33.50
  X2O=  1.7    4.69  13.91  23.35  43.42  73.88 104.34 225.46
   Z+=  .373    .589   1.231   1.659   2.408   3.478   4.548   8.829
  X2+=  .06    .165    .691    .824   1.532   2.607   3.682   7.956
RE=810000      XF=248.00      YS=  1.70
A= 4.35E-02  B= 2.65E-08(M)  C= 3.14E-04(M)  D=-2.31E-05(M2)  ZL= 73.70(MM)
Y/YD= .0694  L= 82.91(MM)  100.L.F/YD= 1.101  FLUCV= 3.493(M/S)
LAMTUR=13.034(MKSA)  LAMTUR/LAM=499.76  A.L/2.YD= .147
   ZF= 35.00  55.00 115.00 155.00 225.00 325.00 425.00 425.00 825.00
  X2T=  3.81   7.99  17.99  30.24  52.86  84.80 114.73 116.73 242.48
  X/Z=  1.55   2.60   4.69   6.47   9.95  14.38  18.60  18.77  36.13
  X2O=  2.0    5.49  14.55  26.24  47.82  79.16 108.81 110.76 236.00
   Z+=  .422    .663   1.387   1.869   2.714   3.920   5.126   5.126   9.950
  X2+=  .08    .211    .559   1.001   1.838   3.043   4.182   4.257   9.071
```

Tableau 56

```
        DIFFUSION "PARALLELEMENT AUX ISOVITESSES"
RE=810000      XF=407.00      YS= 24.70
A= 2.98E-02  B= 1.00E-08(M)  C= 3.61E-04(M)  D=-4.85E-05(M2)  ZL=134.35(MM)
Y/YD=1.0111  L=202.86(MM)  100.L.F/YD= 2.699  FLUCV= 3.316(M/S)
LAMTUR=20.736(MKSA)  LAMTUR/LAM=788.06  A.L/2.YD= .248
   ZF= 18.00  38.00  78.00 118.00 158.00 188.00 228.00 278.00 378.00 428.00 528.00 638.00 728.00 828.00
  X2T=   .86   2.17   6.53  12.68  20.13  27.01  39.30  55.07  92.33 112.30 148.26 190.56 221.00 254.62
  X/Z=   .54   1.12   2.33   3.52   4.69   5.62   7.06   8.73  12.19  13.89  16.95  20.41  22.98  25.82
  X2O=   .2    1.19   4.80  10.31  17.23  23.74  35.47  50.73  87.12 106.77 142.31 184.25 214.53 248.02
   Z+=  .089    .187    .384    .582    .779    .927   1.124   1.370   1.863   2.110   2.603   3.145   3.589   4.082
  X2+=  .004    .016    .066    .141    .235    .324    .485    .693   1.190   1.459   1.945   2.518   2.931   3.389
RE=810000      XF=407.00      YS= 14.70
A= 3.55E-02  B= 1.44E-08(M)  C= 3.74E-04(M)  D=-4.74E-05(M2)  ZL=126.91(MM)
Y/YD= .6017  L=147.00(MM)  100.L.F/YD= 1.968  FLUCV= 3.809(M/S)
LAMTUR=20.690(MKSA)  LAMTUR/LAM=786.70  A.L/2.YD= .215
   ZF= 18.00  38.00  78.00 118.00 158.00 188.00 228.00 278.00 378.00 428.00 528.00 638.00 728.00 828.00
  X2T=  1.05   2.63   8.61  16.26  26.07  33.80  44.99  61.97  97.22 117.15 154.75 198.70 232.68 266.11
  X/Z=   .66   1.30   2.81   4.19   5.63   6.66   8.04   9.93  13.58  15.50  19.12  23.21  26.43  29.75
  X2O=   .41   1.56   6.67  13.67  22.91  30.30  41.10  57.61  92.20 111.85 149.08 192.71 226.54 259.87
   Z+=  .122    .257    .527    .798   1.068   1.271   1.542   1.880   2.556   2.894   3.570   4.314   4.922   5.598
  X2+=  .007    .028    .121    .247    .415    .548    .744   1.043   1.669   2.025   2.698   3.488   4.100   4.704
RE=810000      XF=407.00      YS=  4.70
A= 4.08E-02  B= 2.12E-08(M)  C= 3.76E-04(M)  D=-4.66E-05(M2)  ZL=123.76(MM)
Y/YD= .1924  L=112.86(MM)  100.L.F/YD= 1.501  FLUCV= 3.887(M/S)
LAMTUR=18.511(MKSA)  LAMTUR/LAM=703.85  A.L/2.YD= .189
   ZF= 18.00  38.00  78.00 118.00 158.00 188.00 228.00 278.00 378.00 428.00 528.00 638.00 728.00 828.00
  X2T=  1.39   4.03  11.91  21.87  32.22  41.00  52.37  68.85 102.80 123.27 158.52 201.66 235.15 274.56
  X/Z=   .64   1.55   3.28   4.92   6.43   7.60   9.07  11.06  15.00  17.20  21.15  25.76  29.41  33.61
  X2O=   .38   2.15   8.66  17.61  27.26  35.59  46.51  62.46  95.68 115.80 150.67 193.43 226.74 265.94
   Z+=  .159    .337    .691   1.046   1.400   1.666   2.020   2.463   3.349   3.792   4.678   5.653   6.451   7.337
  X2+=  .009    .051    .204    .415    .642    .838   1.095   1.471   2.253   2.727   3.547   4.554   5.338   6.262
RE=810000      XF=407.00      YS=  1.70
A= 4.10E-02  B= 2.82E-08(M)  C= 3.77E-04(M)  D=-4.55E-05(M2)  ZL=120.63(MM)
Y/YD= .0696  L=112.39(MM)  100.L.F/YD= 1.495  FLUCV= 3.483(M/S)
LAMTUR=16.576(MKSA)  LAMTUR/LAM=630.27  A.L/2.YD= .189
   ZF= 18.00  38.00  78.00 118.00 158.00 188.00 228.00 278.00 378.00 428.00 528.00 638.00 728.00 828.00
  X2T=  1.58   4.09  12.52  21.93  32.88  41.78  52.16  69.83 104.68 126.74 159.56 203.50 237.56 277.75
  X/Z=   .67   1.52   3.33   4.89   6.46   7.64   9.02  11.12  15.13  17.43  21.21  25.89  29.58  33.83
  X2O=   .42   2.06   8.93  17.34  27.49  35.90  45.88  62.93  96.99 118.63 151.13 194.66 228.52 268.49
   Z+=  .161    .338    .694   1.050   1.406   1.673   2.029   2.474   3.363   3.808   4.698   5.677   6.478   7.367
  X2+=  .018    .049    .211    .439    .648    .846   1.082   1.483   2.286   2.796   3.563   4.589   5.387   6.329
```

Tableau 57

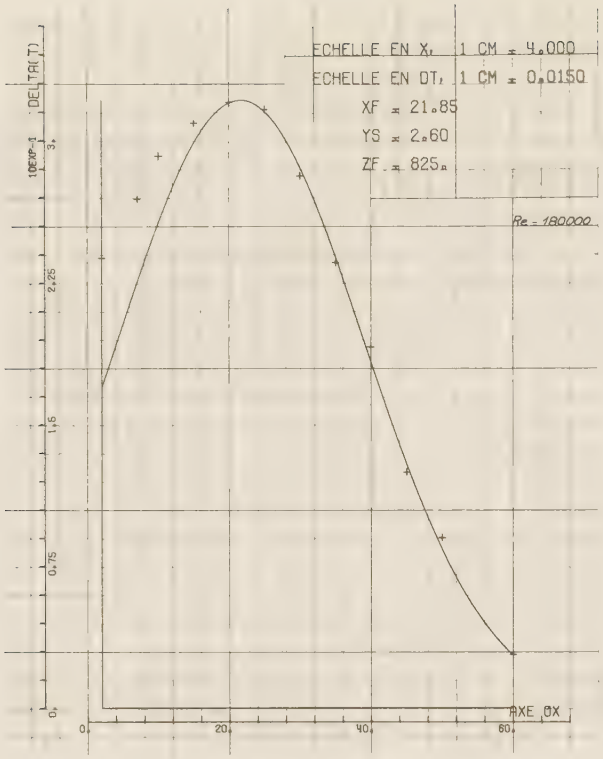


Figure 30

Courbe de diffusion

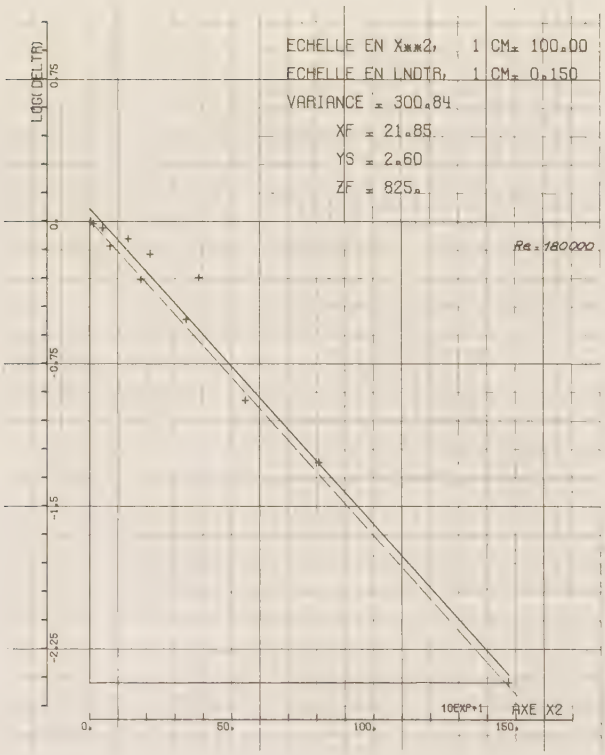


Figure 31

Courbe de diffusion

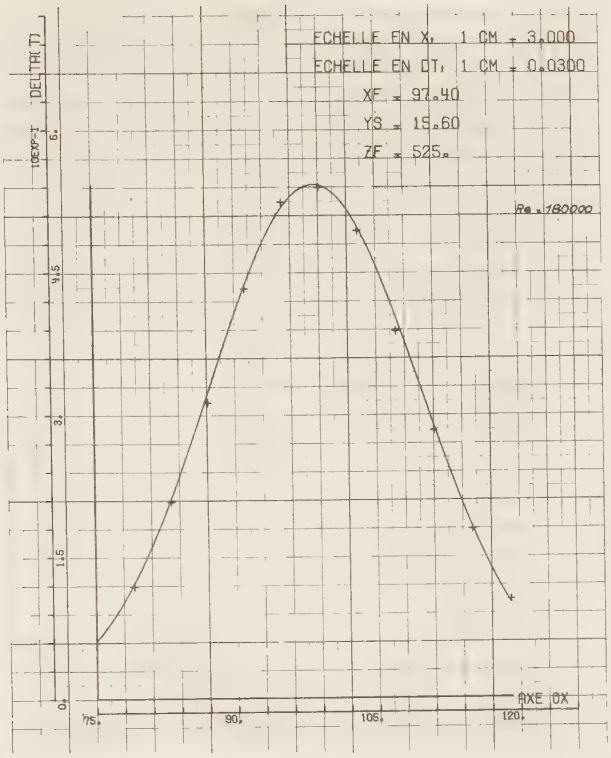


Figure 32

Courbe de diffusion

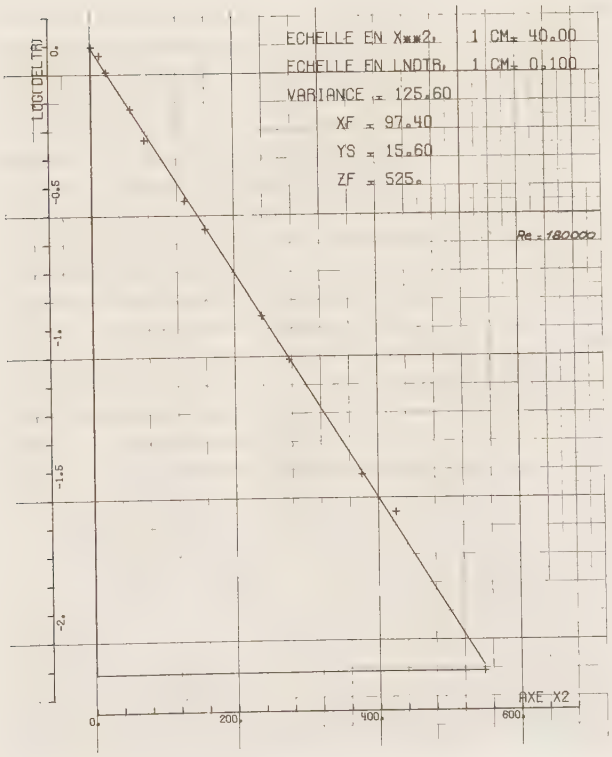


Figure 33

Courbe de diffusion

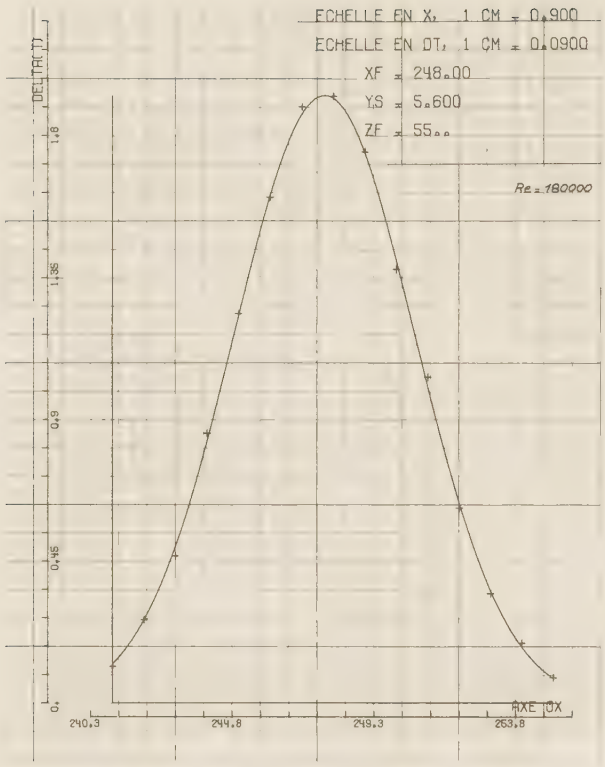


Figure 34

Courbe de diffusion

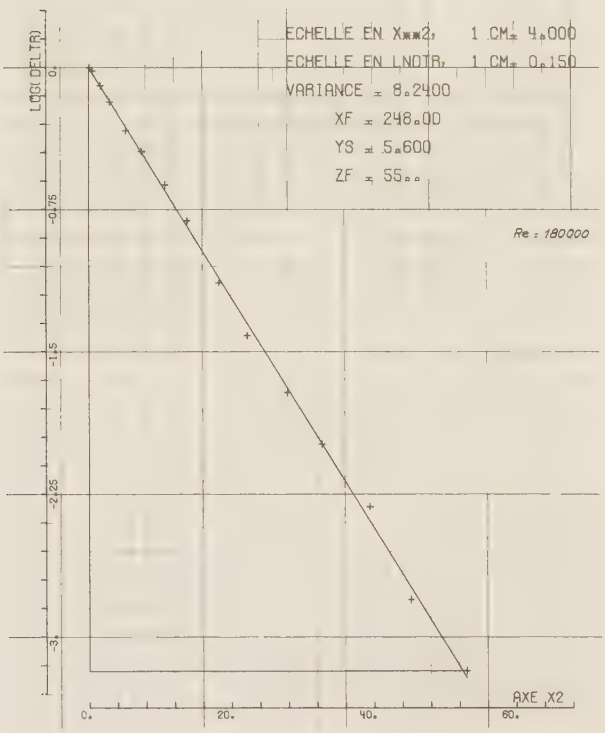


Figure 35

Courbe de diffusion

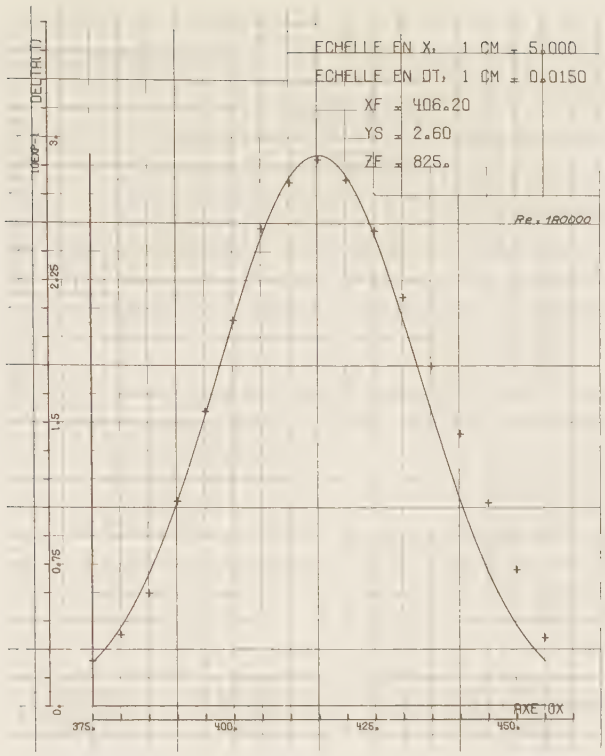


Figure 36

Courbe de diffusion

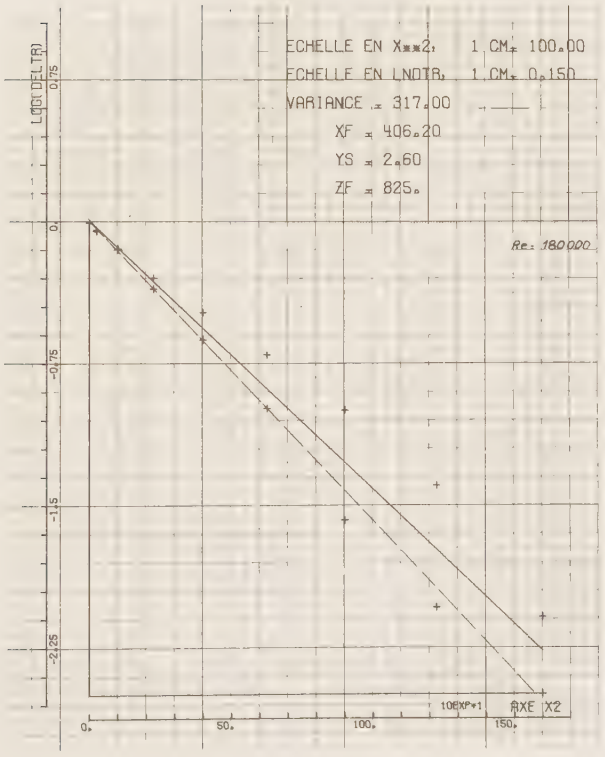


Figure 37

Courbe de diffusion

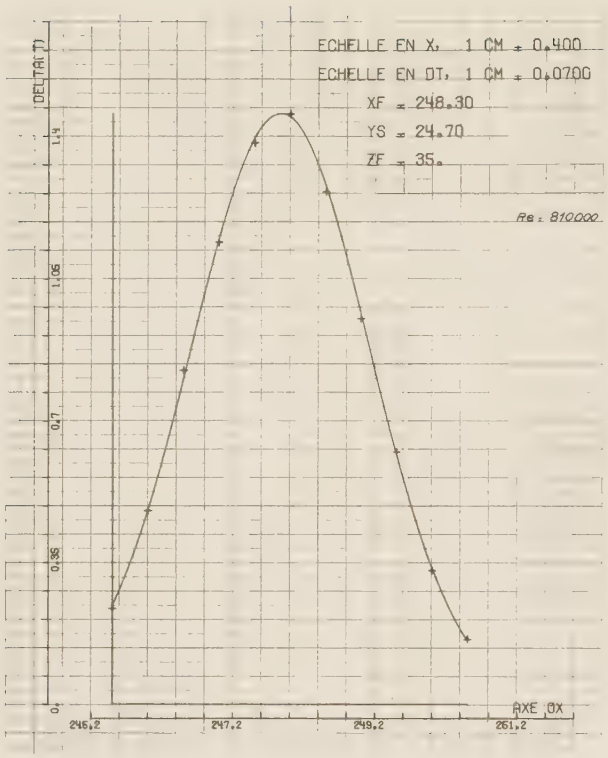


Figure 38

Courbe de diffusion

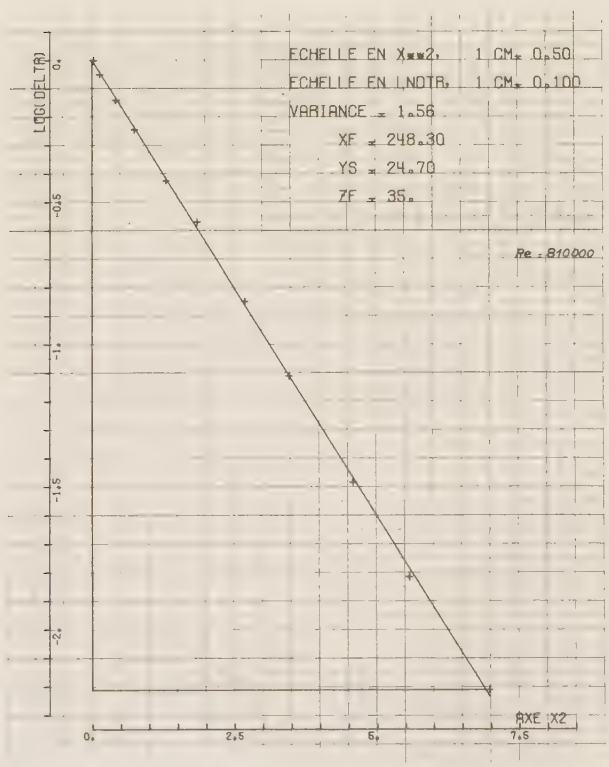


Figure 39

Courbe de diffusion

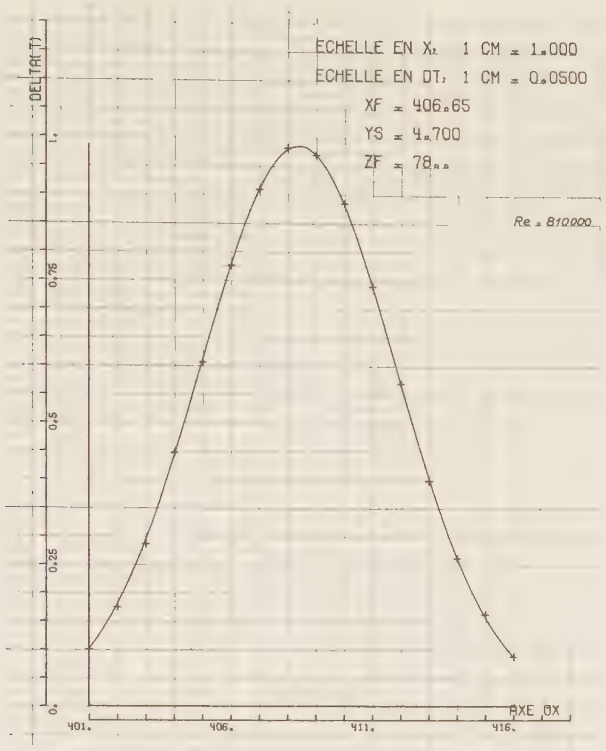


Figure 40

Courbe de diffusion

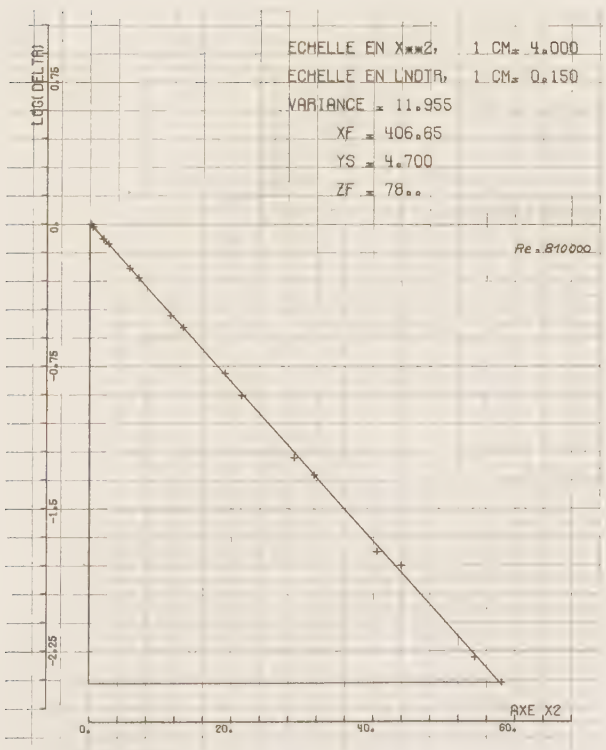


Figure 41

Courbe de diffusion

Vu et approuvé

PARIS, le 29 mai 1972

Le Président de l'Université de PARIS VI